

Revista e-Tec
03-2022

Faculdade da Indústria SENAI Londrina

Edição V3 – ano 2022 – Londrina Paraná

e-TEC

Corpo Editorial

Editor Chefe – Edição V3-2022

Prof. Dr. Vicente de Lima Gongora

Comitê Executivo

Prof. Anderson P. Àvila dos Santos

Prof.^a Adriana G. Carvalho

Prof.^a Dra. Camila F. de Oliveira

Prof. Fábio R. Milanez

Prof. MSc. Renato Kazuo Myiamoto

Prof. Dr. Rodolfo A. Hildebrandt

Prof. Dr. Vicente de Lima Gongora

Prof. Wesley Candido da Silva

Revista de
Tecnologia e
Ciência

Editora: Faculdade de Tecnologia Senai Londrina

ISSN: 2358-5528

Direitos reservados

Faculdade de Tecnologia SENAI Londrina

Rua Belém, 844 – Londrina PR.

43 - 3294-5100 – faculdade.londrina@sistemafiep.org.br

Nenhuma parte desta publicação poderá ser reproduzida sem a autorização prévia e escrita da Editora Faculdade da Indústria SENAI Londrina.

Este periódico publica nomes individuais, comerciais, marcas registradas e produtos pertencentes a diversas companhias. O Editor utiliza-se destes nomes somente para fins editoriais e em benefício dos proprietários dos nomes e marcas, sem intenção de atingir seus direitos.

Observa-se ainda que os dados contidos nos artigos são de responsabilidade dos próprios autores.

Carta ao leitor!

Olá leitores!

Esta edição da Revista e-Tec de tecnologia e ciência da Faculdade de Tecnologia SENAI Londrina, apresenta uma coletânea de publicações da nossa comunidade acadêmica, sobre as produções docentes e discentes tanto da graduação como da pós-graduação; e, visa facilitar o aprendizado dos alunos que participam dos cursos ofertados pela nossa instituição e ou demais instituições que se interessem em evidências suas publicações neste editorial.

Este ano, os docentes inovaram nas discussões e nas escolhas dos desafios da indústria a serem pesquisados pelos acadêmicos; utilizaram além das costumeiras visitas em indústrias parceiras, utilizaram, também, as plataformas do Desafio de projetos inovadores DSPI, e do Inova Senai. Desta forma as escolhas de desafios se tomam dimensões nacionais, podendo ser escolhidas empresas parceiras em todo o País. Outro motivador essencial é, desafiar os leitores e a nossa própria comunidade acadêmica a analisar criteriosamente o que será desenvolvido; e, de alguma forma articular com os objetivos e as temáticas dos cursos em que estes desafios serão inseridos.

Neste segundo semestre, estaremos passando pela visita de reconhecimento dos cursos de Tecnologia em Automação Industrial e do curso de Engenharia Elétrica, contamos com todos para mais esta missão seja coroada de êxito, tanto pela qualidade do seu aprendizado, quanto de nossa infraestrutura e direcionamento inovador.

As Jornadas de aprendizagem, e suas estações, tem se mostrado eficiente em trazer experiências inovadoras, que incluem a troca de ideias, com empresários e industriários de muita vivência na indústria. Estas fontes de conhecimento trazem a experiência do mundo exterior para dentro da academia; enriquecendo o seu currículo. Aliado ao propósito de resolver problemas da indústria os nossos acadêmicos constroem soluções aplicando os conhecimentos adquiridos nas disciplinas do curso e mobilizam outros necessários para concluírem as atividades, orientadas pelos docentes.

Ótima jornada a todos!

Prof. Dr. Vicente Gongora



Sumário

Capítulo I: Projeto mecânico de um modulo didático fotovoltaico; Jornada de aprendizagem.....	4
Capítulo II: Visão Computacional aplicada a detecção de EPI's; NIKOLA.I.....	19
Capítulo III: Uma abordagem para manutenção preditiva em equipamentos de rede de distribuição por meio de imagens termográficas e lógica <i>fuzzy</i>	32
Capítulo IV: Projeto de Filtro Digital tipo FIR implementado em um microcontrolador.....	49

Capítulo I: Projeto mecânico de um módulo didático fotovoltaico; Jornada de aprendizagem

Willian de Lima Martins
Wagner Luiz Angelozi
Abner de Paula Rosa
Lucas Cogo Bittencourt
João Guilherme Inacio Pereira
Jean Carlos de Lima
Fábio Costa Magro
Mateus Lopes dos Santos
Wendel Igor de Lima Silva
Camila Fogaça de Oliveira
Rodolfo Alexandre Hildebrandt

RESUMO

Ao pensar em um projeto com o objetivo disseminar conhecimento voltado para o ensino da energia fotovoltaica, foi desenvolvido um equipamento capaz de simular o funcionamento de uma placa, desde a aplicação de fótons até a conversão para energia elétrica. E, para realizar este projeto, foi necessário a projeção mecânica do equipamento, desde a automação mecânica por meio do projeto, até sua execução e montagem. Este artigo descreve todo o cronograma mecânico de projeto, a definição conceitual e a montagem final da estrutura.

Palavras-chave: Fotovoltaico. Equipamento didático. Energia renovável. Indústria.

PHOTOVOLTAIC TEACHING MODULE

ABSTRACT

When thinking of a project with the objective of disseminating knowledge aimed at teaching photovoltaic energy, an equipment capable of simulating the operation of a plate was developed, from the application of photons to the conversion to electrical energy. And, to carry out this project, the mechanical design of the equipment was necessary, from the mechanics through the project, to its execution and assembly. This article describes the entire mechanical project schedule, the conceptual definition and the final assembly of the structure.

Key-words: Photovoltaic. Teaching Equipment. Renewable energy. Industry.

1. INTRODUÇÃO

Com o objetivo de aperfeiçoar o conhecimento entre os discentes dos cursos de engenharia no que tange a captação de energia solar, foi desenvolvido um projeto na Faculdade da Indústria Senai Londrina de acordo com a metodologia de Jornada de Aprendizagem. Essa metodologia possui o objetivo de incentivar os alunos a participarem de projetos associados a indústria, permitindo a interdisciplinaridade na construção de respostas à diversas situações-problemas.

Em uma era onde a captação e utilização de energia limpa vem ganhando força e se desenvolvendo exponencialmente, a capacitação técnica deve trazer cada vez mais perto uma vivência das tecnologias que conhecemos, a fim de aprimorar os conhecimentos bem como instigar a evolução tecnológica. O kit didático desenvolvido nesse projeto tem como finalidade, trazer uma metodologia do funcionamento da captação de energia fotovoltaica, possibilitando a sua utilização mesmo sem a presença da luz solar.

Desse modo, os discentes dos cursos de Engenharia Mecânica e Engenharia Elétrica, em uma primeira etapa, trabalharam em conjunto e desenvolveram um sistema de uma iluminação forçada, por meio de utilização de refletores de alta luminosidade, simulando a luz solar em uma placa fotovoltaica, sendo possível sua utilização sem depender de locais com utilização de energia solar.

Este artigo abordará como a ideia foi desenvolvida e implementada por meio do projeto mecânico, mostrando detalhadamente o desenvolvimento da estrutura e automação mecânica.

2. METODOLOGIA

Para a organização do projeto, a primeira decisão a se tomar foi o ponto de lições aprendidas em relação ao semestre anterior (2021 A), visando solucionar alguns problemas:

- Dificuldade de comunicação com todos os alunos;
- Dificuldade de recebimento de atividades;
- Dificuldade de prazo;
- Dificuldade de planejamento;

- Dificuldade de coordenação interna.

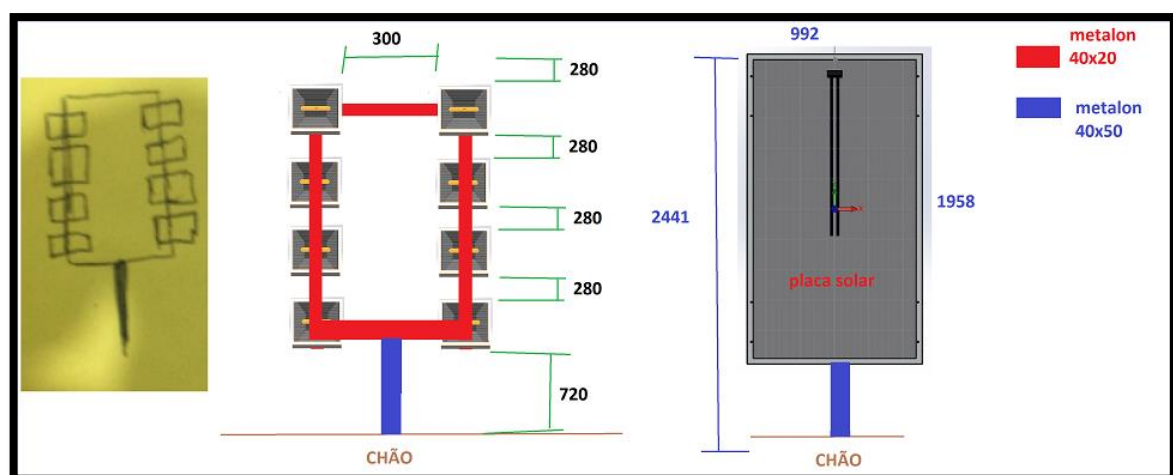
Para tentar solucionar estas dificuldades e possuir um semestre mais organizado relacionado a Jornada de Aprendizagem (2021 B) foram tomadas decisões administrativas e de gestão de projeto, com a divisão dos alunos do curso de Engenharia Mecânica em duas equipes:

- Equipe 01: Projeto
- Equipe 02: Montagem

2.1 Definições de conceito, padrões e detalhamento

Como *kick-off* (ponta pé de partida) foram definidos encontros presenciais. Houve reuniões todas as quartas feiras no Senai para a abordagem e análise de como seria definido o Projeto (conforme Figura 1), sendo assim, o grupo conseguia uma melhor comunicação de como seria o andamento de todas as atividades. Este horário foi utilizado tanto para o planejamento quanto para a montagem e execução mecânica, conforme Figura 2.

Figura 1 – Projeto realizado



Fonte: Elaborado pelos autores.

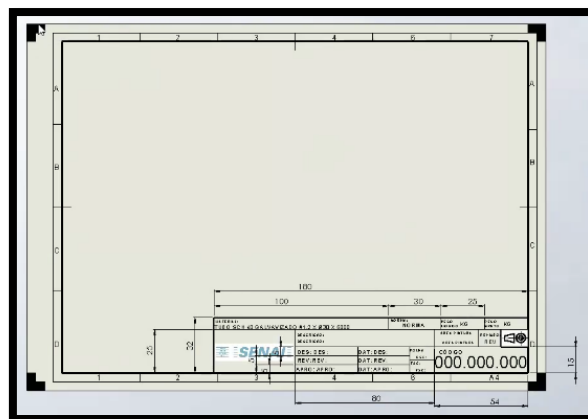
Figura 2 – Equipe de montagem



Fonte: Elaborado pelos autores.

Para a elaboração do Projeto, o grupo realizou também o trabalho de padronização de pranchas de desenho técnico de acordo com às normas da ABNT NBR 16861 e NBR 16752, conforme Figura 3.

Figura 3 – Formato de prancha conforme norma



Fonte: Elaborado pelos autores.

Além disso, foi possível iniciar o planejamento e controle dos materiais a serem utilizados, conforme Tabela 1, sendo possível controlar as solicitações a serem feitas, as prioridades de aquisição de materiais ou peças.

Tabela 1 – Tabela de Custos

FIZ UMA SEPARÇÃO INICIAL SO PARA FACILIAR POUCO MAIS LEITURA					
LISTAGEM DE MATERIAL					
PARTE ELÉTRICA					
ITEM	DESCRIÇÃO	UNI	QTD	PEÇO UNI	PREÇO TOTAL
1	Fonte Colméia Chaveada 12 Volts 30 Ampéres	PÇ	1	R\$ 120,00	R\$ 120,00
2	Fonte 12 Volts 2 Ampéres Chaveada	PÇ	1	R\$ 25,00	R\$ 25,00
3	Diodo IN4007	PÇ	2	R\$ 0,31	R\$ 0,62
4	MOSFET IRF 1404 40 Volts 80 Ampéres	PÇ	4	R\$ 7,90	R\$ 31,60
5	Diodo IN4148	PÇ	2	R\$ 1,28	R\$ 2,56
6	Photo Acoplador 817 LE 822	PÇ	2	R\$ 1,50	R\$ 3,00
7	Capacitor Eletrolítico 1uF/250Volts	PÇ	2	R\$ 1,08	R\$ 2,16
8	Transistor BC337 Puro	PÇ	3	R\$ 0,53	R\$ 1,59
9	MOSFET N Channel IRFZ 44N=MTP 50N06V - 55 Volts 41 Ampéres	PÇ	2	R\$ 4,00	R\$ 8,00
10	Potenciômetro B1K L20 sem Chave linear	PÇ	1	R\$ 4,35	R\$ 4,35
PARTE MÊCANICA					
ITEM	DESCRIÇÃO	UNI	QTD	PEÇO UNI	PREÇO TOTAL
1					
2					

Fonte: Elaborado pelos autores.

2.2 Administração de documentos

Após os padrões estabelecidos conforme tópico 2.1, um ponto muito importante que surgiu, foram os padrões dos relatórios e padrões de documentação a serem entregues durante o projeto.

O grupo de Projetos passou então a estabelecer estes padrões, que foram de importância para a validação dos horários, dos relatórios descritos nas reuniões, de *datasheets*, listas, entre outros.

A primeira ação foi padronizar a pasta principal do projeto onde são arquivados os documentos de todas as áreas conforme Figura 4, com o objetivo de dividir os principais assuntos e facilitar o acesso de qualquer pessoa a esses arquivos.

Figura 4 – Pasta do projeto

Nome	Status	Data de modificação	Tipo
01_Coordenação	🔄	16/05/2021 21:47	Pasta de arquivos
02_Projeto_Mecânico	☁	31/03/2021 22:03	Pasta de arquivos
03_Projeto_Elétrico	☁	21/04/2021 07:56	Pasta de arquivos
04_Projeto_de_Automação	☁	31/03/2021 22:03	Pasta de arquivos
05_Montagem	☁	31/03/2021 22:03	Pasta de arquivos
06_Artigo	☁	02/05/2021 19:23	Pasta de arquivos
Recordings	☁	14/05/2021 23:19	Pasta de arquivos

Fonte: Elaborado petabellos autores.

Com as pastas principais, foi definido que todos os documentos deveriam ser oficiais e por consequência possuir uma identificação, assim na pasta 01_Coordenação (Figura 5) houve uma outra subdivisão com os arquivos que teriam valor oficial, como os relatórios, padrões, entre outros.

Figura 5 – Pasta do projeto, subdivisão “01_Coordenação”

Nome	Status	Data de modificação	Tipo
01_Ata_de_Reunião	☁	31/03/2021 22:03	Pasta de arquivos
02_Cronograma_de_Atividades	☁	31/03/2021 22:03	Pasta de arquivos
03_Grupos	☁	15/05/2021 19:20	Pasta de arquivos
04_Padrões	☁	03/06/2021 19:23	Pasta de arquivos
05_Relatórios	☁	03/06/2021 19:21	Pasta de arquivos
06_Custo	🔄	03/06/2021 18:50	Pasta de arquivos

Fonte: Elaborado pelos autores.

Dentro desta pasta foi criado um dos principais documentos, que é a planilha de protocolos (Tabela 2), onde nela é criado uma identificação para cada documento, seja esse documento uma lista de equipamentos, um relatório de encontro presencial, um relatório de reunião, um *datasheet* ou qualquer outro documento. Com esta planilha foi possível fazer o controle de tudo que foi criado desde este semestre até o final do projeto, com o objetivo de mostrar a real importância da documentação em um projeto quando falamos da área de engenharia aplicada ao mercado de trabalho.

A identificação do documento foi feita de forma simples e objetiva, sendo a divisão como AA-BBB-CCC, onde:

- AA - O grupo relacionado a este documento, exemplo 02 (grupo 02);
- BBB - A área relacionada a este documento, exemplo MEC (mecânica);
- CCC - O número sequencial do documento, exemplo 001 (sempre em sequência do último documento criado).

Tabela 2 – Controle de protocolos

Sistema Fiep SENAI Controle de Protocolos / Documentos de Projeto													
Nº de protocolo	Título	Data Emissão	Emissor	Revisão	Horário de Início	Horário de fim	Tempo realizado	Participante 1	Participante 2	Participante 3	Participante 4	Participante 5	Participante 6
63-MEC-ELE-001	Definição do Círculo do Segundo Módulo (Referentes)	28/03/2021	Fabio Koyano	001	09:00	13:00	04:00:00	Fabio Koyano	William				
63-MEC-ELE-002	Definição do suporte rotativo dos Referentes	31/03/2021	Fabio Koyano	001	19:40	22:00	02:20:00	Fabio Koyano	William	Abner			
63-MEC-ELE-003	Definição do sistema de regulagem de distância segundo módulo	04/04/2021	Fabio Koyano	001	19:40	22:30	03:10:00	Fabio Koyano	William				
63-MEC-ELE-004	Apresentação dos Dados para os Líderes	08/04/2021	Fabio Koyano	001	22:30	23:50	01:20:00	Fabio Koyano	William	John	Calbebe		
63-MEC-ELE-005	Alinhamento com o time para início da fabricação dos refletores	20/04/2021	Fabio Koyano	001	20:10	21:10	01:00:00	Fabio Koyano	Wagner Angeleri	Lucas	Guilherme Noda	John	Vinicius
63-MEC-ELE-006	Definição de projeto (Plano e Modelo de Prática)	20/04/2021	Fabio Koyano	001	21:30	23:20	01:50:00	Fabio Koyano	William	Abner			
63-MEC-ELE-007	Créqui para montagem dos refletores na espaçeira	21/04/2021	Fabio Koyano	001	19:40	22:00	02:20:00	Fabio Koyano	William	Abner			
62-ELE-008	Levantamento de Materiais para Montagem do Segundo Módulo	20/04/2021	Fabio Koyano	001	20:10	21:30	01:20:00	John	Luciano	Ricardo			
06-ELE-009	Validação da Norma Regulamentadora e coletado tabelas de consulta	26/03/2021	Fabio Koyano	001	22:30	23:00	00:30:00	Fabio Koyano					
06-ELE-010	Análise de Segurança do Trabalho para início o dimensionamento	11/04/2021	Fabio Koyano	001	09:30	11:30	02:20:00	Fabio Koyano					
05-MEC-ELE-011	Tecido de Calor na Fieca	27/03/2021	Fabio Koyano	001	10:00	13:00	03:00:00	John	Calbebe	Wagner Angeleri	Wendell		
07-MEC-ELE-012	Roteiro para Alinhamento de atividades	28/03/2021	Fabio Koyano	001	14:00	16:10	02:10:00	Fabio Koyano	John	William	Mathias	Abner	Calbebe
05-MEC-ELE-013	Tecido de Polímeros, Temperaturas e Sensores	14/04/2021	Fabio Koyano	001	10:00	14:20	04:20:00	John	Calbebe	Wendell			
04-MEC-ELE-014	Visita ao Instituto para Levantamento de Materiais, Teste Segunda Espira	08/04/2021	Fabio Koyano	001	19:20	22:20	03:00:00	Vinicius	Wagner Angeleri	Rodrigo	Lucas	Guilherme Noda	John
03-MEC-ELE-015	Definição Modelo de Desenho e Modelo Técnico de Desenhos	05/05/2021	Fabio Koyano	001	19:40	21:10	01:30:00	Fabio Koyano	Abner	William			
07-MEC-ELE-016	Apresentações dos Planos para os Líderes	12/05/2021	Fabio Koyano	001	19:30	20:10	00:40:00	William	Mathias	Abner	Fabio Koyano	John	
04-MEC-ELE-017	Discussão do Dimensionamento de Alinhamento do Segundo Módulo	04/05/2021	Fabio Koyano	001	22:30	23:15	00:45:00	John	Fabio Koyano	Calbebe	Wagner Angeleri		
04-MEC-018	Fabricação de quadro para fixação dos refletores	28/04/2021	Wagner Angeleri	001	19:10	22:15	03:05:00	Wagner Angeleri	Rodrigo	John	John	Guilherme Noda	Lucas
04-MEC-019	Visita ao Instituto para discussões e testes	05/05/2021	Wagner Angeleri	001	19:10	22:15	03:05:00	Wagner Angeleri	Vinicius	John	Lucas		
04-MEC-020	Foi enviado e-mail, contendo o base para a fixação do segundo motor	12/05/2021	Wagner Angeleri	001	19:10	22:15	03:05:00	Wagner Angeleri	Lucas				
04-MEC-021	Foi desenvolvido a base para segunda estrutura fixação do motor em um momento.	19/05/2021	Wagner Angeleri	001	19:10	22:30	03:20:00	Wagner Angeleri	Lucas	Vinicius	Guilherme Noda	John	Ricardo
02-ELE-022	Teste retorno 1 de rotação do motor	05/05/2021	Calbebe Cruz	001	19:00	22:30	03:30:00	Calbebe	Fabio Koyano	Luciano	John	Ricardo	
02-ELE-023	Organização do Espargi-Maker	06/05/2021	Calbebe Cruz	001	09:30	12:30	03:00:00	Calbebe	Fabio Koyano	John			
02-ELE-024	Ajuda complementar para construção do Drive, teste simplificador.	16/05/2021	Calbebe Cruz	001	09:30	12:30	03:00:00	Calbebe	Fabio Koyano	John			
04-MEC-025	Montagem da estrutura dos refletores (rodinhas, colunas de sustentação dos refletores).	26/05/2021	Wagner Angeleri	001	19:10	22:00	02:50:00	Wagner Angeleri	Lucas	Vinicius	Guilherme Noda	John	John
02-ELE-026	Validação da Corrente do Motor e Teste de movimento 2º Módulo	26/05/2021	Fabio Koyano	001	19:30	22:00	02:30:00	John	Fabio Koyano	Calbebe			
06-ELE-027	Elaboração do sistema de proteção, e inclusão montagem do diagrama	02/06/2021	Fabio Koyano	001	19:30	22:30	03:00:00	Fabio Koyano	John	Luciano			
06-ELE-027	Elaboração do sistema de proteção, e inclusão montagem do diagrama	02/06/2021	Fabio Koyano	002	20:30	22:20	01:50:00	Calbebe					
06-ELE-028	Alinhamento e cálculos condutores	03/06/2021	Fabio Koyano	001	15:00	19:00	04:00:00	John	Fabio Koyano				

Fonte: Elaborado pelos autores.

Com a criação dos protocolos foi possível passar para a próxima etapa que foi a criação dos padrões de *datasheets* (Figura 6) e relatórios (Figura 7). As informações nesses documentos possibilitaram a construção do artigo e a validação de carga horária trabalhada no Projeto Kit Didático Solar Noturno.

Figura 6 – Modelo de *datasheet*

Fonte: Elaborado pelos autores.

Figura 7 – Modelo de Relatório

Fonte: Elaborado pelos autores.

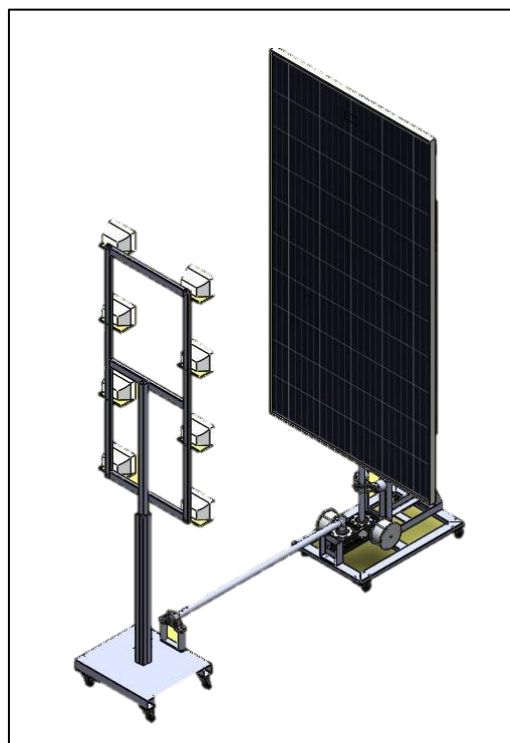
Com a ajuda de todos os integrantes dos grupos no cumprimento da realização dos relatórios, foi adquirido todo o material para realizar o artigo e apresentação final do semestre.

3. APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

3.1 Projeto

O grupo realizou a simulação e modelagem do projeto 3D da placa fotovoltaica por meio do software *SolidWorks* (Figura 8) e, também, a estimou uma tabela para aquisição de materiais. Nesse caso, a visualização permitiu um melhor entendimento de montagem e de solução de problemas do projeto.

Figura 8 – Projeto 3D em SolidWorks



Fonte: Elaborado pelos autores.

3.2 Montagem do Projeto

3.2.1 Aprimoramentos do Projeto

Durante o semestre passado (2021 A) verificamos alguns aspectos que necessitavam de melhorias e durante esse semestre colocamos em prática.

- Foram fabricadas alças de transporte as quais possibilitam maior praticidade para transportar a estrutura. Para sua fabricação foi utilizado uma barra chata 15x3 mm.

- Foram instaladas porcas borboletas 3/8 para facilitar a desmontagem da estrutura.

3.2.2 Pintura da Estrutura

Para a pintura foi feita a desmontagem total da estrutura para melhor aplicação da tinta e adesão. O local de aplicação da tinta foi a cabine de pintura do curso de Manutenção Automotiva do Senai em Londrina. Após o período de secagem foi feita toda a montagem da estrutura para testes (Figura 9).

Figura 9 – Pintura da Estrutura



Fonte: Elaborado pelos autores.

3.2.3 Montagem mecânica do painel elétrico

Após o desenvolvimento e dimensionamento do painel elétrico pelos discentes do curso de Engenharia Elétrica, foi realizado o desenvolvimento da estrutura para fixação do painel (Figura 10). Foram utilizadas cantoneiras de 35 mm x 35 mm e chapa 1,2 mm.

Figura 10 – Montagem mecânica do painel elétrico

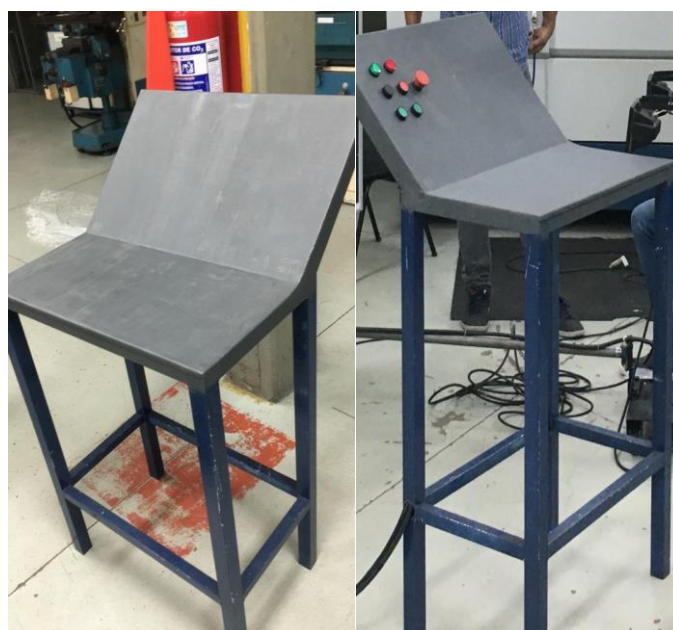


Fonte: Elaborado pelos autores.

3.2.4 Desenvolvimento da bancada elétrica

Para a fabricação de uma bancada para instalação dos elementos de comando elétricos (Figura 11) foram utilizados um tubo quadrado 40 mm x 40 mm e chapa de 1,5 mm. Também foram realizados furos para acoplamento de botoeiras de acionamento e verificação.

Figura 11 – Bancada Elétrica

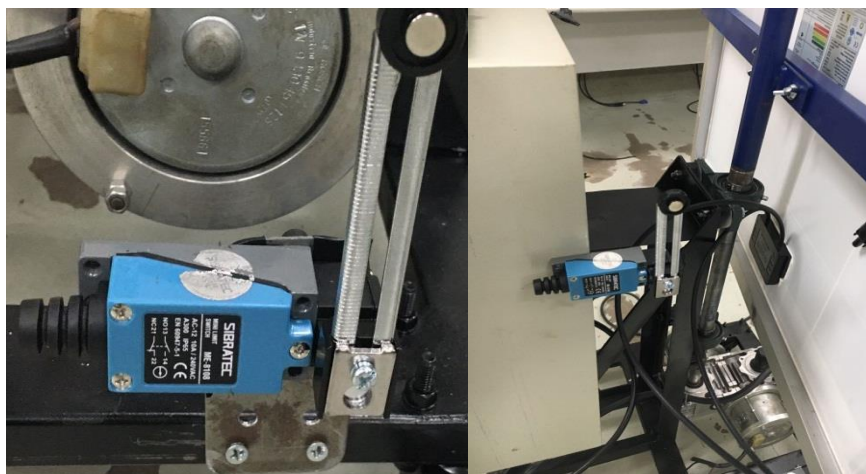


Fonte: Elaborado pelos autores.

3.2.5 Fins de curso

Para limitarmos o movimento da placa fotovoltaica e melhor assemelhar ao movimento do sol foram instalados os fins de curso. Para isso foram criados os suportes na qual eles seriam inseridos e utilizadas chapas de 1,2mm com fixação de sensores.

Figura 12 – Instalação de Fins de Curso



Fonte: Elaborado pelos autores.

3.3 Documentação e Gestão do Projeto

Com toda a metodologia aplicada de documentação, os principais pontos positivos dos resultados foram a questão de organização de documentos, onde foi possível ter um controle eficaz do projeto. Com o que foi criado, foi possível também adquirir a capacidade de listar necessidades que ainda faltam ser feitas, como a geração de outros documentos, sendo estes:

- Lista de equipamentos;
- Manual do equipamento;
- *Databook* do projeto.

Por final, o principal aprendizado que se é possível levar de um projeto é como realizá-lo, como executá-lo e organizá-lo, pois, com essa base é possível enfrentar

qualquer projeto que apareça, sabendo onde buscar as informações, onde pedir ajuda, com quem contar e como separar as atividades, é possível realizar novamente, qualquer projeto.

E como melhor exemplo possível segue as palavras do líder escolhido:

“Através das dificuldades encontradas com a organização dos alunos em grupos, foi elaborada uma reunião de líderes onde ficou evidente a preocupação com a agilidade para todos os processos dentro de cada grupo. Então ficou decidido que existiria um líder para coletar, replicar e direcionar as informações. Como primeira medida a pessoa escolhida pediu ao líder de cada grupo um levantamento de todas as tarefas executadas com definição de metas e prazos para as atividades posteriores. Já com o detalhamento pronto e o líder a par das atividades foi sugerido então um remanejamento dos integrantes dos grupos para uma melhor evolução. Porém durante esse processo ficou evidente a dificuldade de comunicação entre o líder e o restante do grupo. devido a várias particularidades. Seja falta de tempo, vontade ou bom senso entre os integrantes, através dessa dificuldade encontrada foi necessária uma nova divisão nos grupos agora com o remanejamento somente das pessoas que efetivamente estavam colaborando, o que sobrecarregou os líderes e conseqüentemente atrasou os prazos determinados. O líder em todas as decisões organizou debates através de reuniões para que houvesse um senso comum entre os colaboradores do projeto. Como um todo o projeto se tornou um aprendizado de comunicação, interação e troca de experiências, elevando o conceito de interação além da sala de aula, para uma contínua rotina de aprendizado.”

Com todas as dificuldades encontradas, os líderes conseguiram coordenar de uma forma muito eficiente cada grupo, e trouxeram muitas vezes além do que foi pedido, deixando assim um aprendizado a todos.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Realizando e implementando o projeto, todos os discentes adquiriram o mais importante dos itens, o aprendizado para gestão e criação de um projeto voltado para engenharia.

As primeiras decisões e planejamento já se iniciaram no próprio semestre, pela forma como seriam realizadas as próximas etapas e, para isso, foi utilizado o método

de *brainstorming* para todos conseguirem mostrar suas ideias, levando em consideração todos os padrões e relatórios que iríamos utilizar para finalização do projeto.

Como o professor e engenheiro Pedro C. Silva Telles disse uma vez, caso alcançássemos o ápice da perfeição humana, os médicos não seriam mais necessários pois não haveria mais doenças, assim como os advogados não seriam mais necessários pois não haveria mais desonestidade, e muito menos os militares seriam necessários pois não haveria mais guerras, porém, a engenharia ainda existiria, pois ela não se trata sobre falhas e erros humanos, mas sim sobre aprimorar, criar, desenvolver e avançar tecnologias.

Capítulo II: Visão Computacional aplicada a detecção de EPI's; NIKOLA.I.

Callebe Espanga da Cruz¹
Elissandro Foltran de Souza²
Luis Gustavo Ferrareto³
Nicolas Kaneta Gasparin⁴
Wesley Candido da Silva⁵

RESUMO

Em sintonia com o conceito da Indústria 4.0, a Inteligência Artificial se trata da tentativa do ser humano de replicar sua inteligência, entre os algoritmos de IA, a visão computacional pode ser usada para detecção de objetos de forma autônoma, podendo ser aplicado a segurança e saúde no trabalho de forma inovadora. A solução NIKOL.AI visa supervisionar a utilização de EPIs no posto de trabalho, efetuando o bloqueio de equipamentos e geração de banco de dados dos eventos, atuando diretamente na redução dos acidentes de trabalho, provenientes da falta de uso do EPI. Através da eletrônica embarcada e do sistema de visão computacional utilizando algoritmos de inteligência artificial, o projeto NIKOL.AI realiza a coleta em tempo real da imagem do ambiente Industrial, posteriormente encaminha para o processamento em nuvem, possibilitando o monitoramento do posto de trabalho quanto a negligência de uso do EPI. A viabilização do projeto é possível pela alta incidência de casos de acidentes de

¹ Graduação, Engenharia Elétrica, da Faculdade de Tecnologia Senai Londrina. E-mail: calebe.cruz00478705@sesisenaipr.org.br

² Graduação, Engenharia Elétrica, da Faculdade de Tecnologia Senai Londrina. E-mail: elissandro.medonca00354335@sesisenaipr.org.br

³ Graduação, Engenharia Elétrica, da Faculdade de Tecnologia Senai Londrina. E-mail: luis.espontao@sesisenaipr.org.br

⁴ Graduação, Engenharia Elétrica, da Faculdade de Tecnologia Senai Londrina. E-mail: nicolas.gasparin00185603@sesisenaipr.org.br

⁵ Especialista - Engenharia de Automação Industrial, da Faculdade de Tecnologia do Senai Santa Catarina. E-mail: wesley.candido@sistemafiep.org.br

trabalho alinhado pela negligência do uso do EPI no âmbito Industrial, assim o projeto traz, de forma inovadora e tecnológica, o controle do uso destes EPIs.

Palavras-chave: Indústria 4.0, Inteligência Artificial, Segurança, EPI, Visão Computacional.

Computer Vision applied to the detection of IPE's: NIKOLA.I.

ABSTRACT

Aligned with the concept of Industry 4.0, Artificial Intelligence is the attempt of the human being to replicate his intelligence, among the AI algorithms, computer vision can be used to detect objects autonomously, and can be applied to safety and health at work in an innovative way. The NIKOLA.AI solution aims to supervise the use of IPE's in the workplace, blocking equipment and generating a database of events, acting directly in reducing work accidents, resulting from the lack of use of IPE. Through embedded electronics and the computer vision system using artificial intelligence algorithms, the NIKOLA.AI project performs real-time image collection of the Industrial environment, later forwards to cloud processing, enabling the monitoring of the workstation for the negligence of use of IPE. The feasibility of the project is possible due to the high incidence of occupational accidents aligned by the negligence of the use of IPE in the Industrial scope, so the project brings, in an innovative and technological way, the control of the use of these IPE's.

Palavras-chave: Industry 4.0, Artificial Intelligence, Safety, IPE, Computer Vision.

1 INTRODUÇÃO

A sociedade vem se transformando a uma velocidade nunca vista anteriormente e isso é percebido principalmente na indústria, pois, a partir do aparecimento de demandas crescentemente mais complexas, se faz necessário o uso de tecnologias facilitadoras cada vez mais evoluídas e rápidas, surgindo como resposta a essas demandas, a Indústria 4.0 (COELHO, 2016). Alinhado ao conceito

da Indústria 4.0, a Inteligência Artificial IA se caracteriza como a combinação de algoritmos projetados para criar hardware que tenham a mesma capacidade do humano, entre os algoritmos de IA, a visão computacional pode ser usada para detecção de objetos de forma autônoma, podendo ser aplicado a segurança e saúde no trabalho de forma inovadora. Segundo a Justiça do trabalho TRT 4ª região, no Brasil a cada minuto que passa, um trabalhador sofre um acidente enquanto desempenha as funções no qual foi contratado. Em sua grande maioria os acidentes são associados a negligência, imperícia e imprudência. O equipamento de proteção individual tem por função neutralizar ou atenuar a ação do agente agressivo contra o corpo da pessoa que o usa. No Brasil, é de obrigatoriedade da empresa o fornecimento aos trabalhadores o EPI adequado ao risco, consoante as disposições contidas na Norma Regulamentadora, NR6. Empresas brasileiras de médio e pequeno porte mostram que custos com a segurança e saúde no trabalho apresentam uma tendência de alta, impactando diretamente nos custos da organização (Associação Brasileira de Recursos Humanos - ABRH). Segundo Pastore, estima-se que os gastos decorrentes de acidentes de trabalhos possam superar setenta bilhões de reais ao ano. A solução NIKOL.AI visa supervisionar a utilização de EPIs no posto de trabalho, fazendo uso da visão computacional e algoritmos de inteligência artificial, permitindo o bloqueio de equipamentos e geração de banco de dados dos eventos, atuando diretamente na redução dos acidentes de trabalho, provenientes da falta de uso do EPI.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL

A Inteligência Artificial se trata da tentativa do ser humano de replicar sua inteligência, ou seja, replicar a forma como pensamos, compreendemos, prevemos e manipulamos um mundo muito maior e complicado, mas ainda assim o campo da Inteligência Artificial vai além ao tentar construir entidades inteligentes. Se tratando de um dos campos mais recentes da engenharia, a Inteligência Artificial abrange uma enorme variedade de subcampos, sendo relevante para qualquer tarefa intelectual (Russell, 2013).

2.2 TESTE DE TURING: AGINDO DE FORMA HUMANA

O teste de Turing, proposto por Alan Turing (1950), foi projetado para definir uma operação que seja satisfatória de inteligência, o teste é composto por algumas perguntas por escrito, onde se um interrogador humano não conseguir distinguir se as respostas vêm de uma pessoa ou um computador, será comprovado a inteligência do computador. Turing também definiu algumas capacidades mínimas para o computador passar no teste (Russell, 2013):

- Processamento de linguagem
- Representação de conhecimento
- Raciocínio automatizado
- Aprendizado de máquina

Outro detalhe sobre o teste de Turing, o chamado teste de Turing Total, inclui também a interação física, dessa forma foram adicionadas mais duas capacidades para o computador:

- Visão Computacional
- Robótica

Estes tópicos compõe a maior parte da Inteligência Artificial, sendo relevante após 60 anos de publicação, sendo estudado até hoje relacionado aos princípios básicos de inteligência (Russell, 2013).

2.3 Visão Computacional

Antes de definir o conceito de Visão Computacional, será apresentado o que é uma imagem, e esta, pode ser definida como uma função bidimensional, $f(x, y)$, em que x e y são coordenadas espaciais (plano), e a amplitude de f em qualquer par de coordenadas (x, y) é chamada de intensidade ou nível de cinza da imagem nesse ponto. Quando x, y e os valores de intensidade de f são quantidades finitas e discretas,

chamamos de imagem digital. O campo de processamento digital de imagens se refere ao processamento de imagens digitais por um computador digital. Uma imagem digital é composta de um número finito de elementos, cada um com uma localização e valores específicos. Esses elementos são chamados de elementos pictóricos, elementos de imagem e pixels. Sendo Pixel, o termo mais utilizado na representação de elementos de uma imagem digital.

Visão Computacional, de forma simples, é a utilização de computadores para emular a visão humana, incluindo o aprendizado e a capacidade de fazer inferências e agir com base em informações visuais, a visão computacional representa um ramo da Inteligência Artificial (AI, do inglês, Artificial Intelligence) que contempla o objetivo de emular a inteligência humana.

A visão computacional é uma ferramenta muito importante para o mecanismo de reconhecimento de ambientes, devido as informações resultantes do processamento das imagens terem a possibilidade de serem utilizadas para o reconhecimento e detecção de padrões (GERONIMO, 2013).

De acordo com Wangenheim (2001) em Visão Computacional não existe nenhum modelo genérico usado para a percepção visual passível de ser aplicado na prática. Ele afirma que o que ocorre na prática é a utilização de um conjunto de algoritmos muito específicos na tarefa de interpretação de uma imagem, que são responsáveis por realizar subtarefas bastante limitadas inseridas no processo de interpretação de imagens. Afirma Wahgenheim (2001) que os algoritmos são divididos em grupos, como: filtros de contraste, detectores de bordas, segmentadores de imagens em grupos, classificadores de texturas, dentre outras.

2.4 CLASSIFICAÇÃO DE OBJETOS

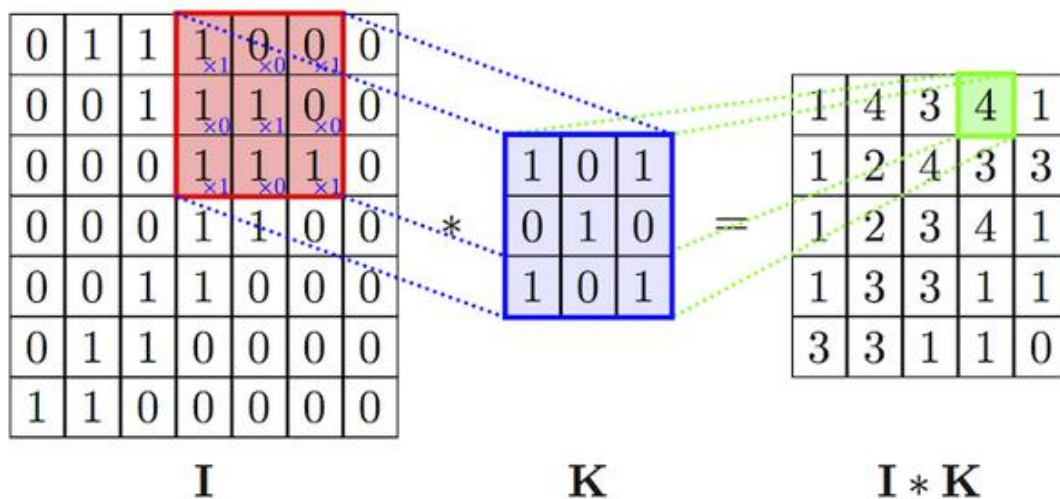
Define-se classificação digital de objetos como uma técnica para capturar, representar e transformar imagens com auxílio de sistemas de Visão Computacional. Uma imagem é dada pela composição de um número de elementos finitos, com tamanho, localização e valores específicos. Esses elementos são chamados de pixel, sendo este o termo utilizado para representar uma imagem digital ou binária (GONZALEZ, 2009). A classificação de imagem pode ser definida como um modelo

binário, onde simplesmente pode retornar se há ou não uma imagem do objeto inserido no treinamento do modelo (STURDEVANT, 2019).

Para Mongelo (2012) a identificação de objetos de imagens se torna necessário em casos em que ocorrem problemas com a oclusão, quando um objeto pode estar parcialmente escondido atrás de outro ou mais objetos, sendo assim a identificação de objetos se faz necessário.

Uma das formas de realizar uma classificação de objetos utilizando visão computacional, são por meio do uso de Redes Neurais Convolucionais ou CNN (*Convolutional Neural Network*), que fazem a função de extrair características de um objeto, analogamente ao olho humano, porém ao invés de extrair as características da forma do objeto ou alguma referência, as CNN fazem uso de filtros, aplicando o conceito de convolução (**BRANDIZZI, 2020**).

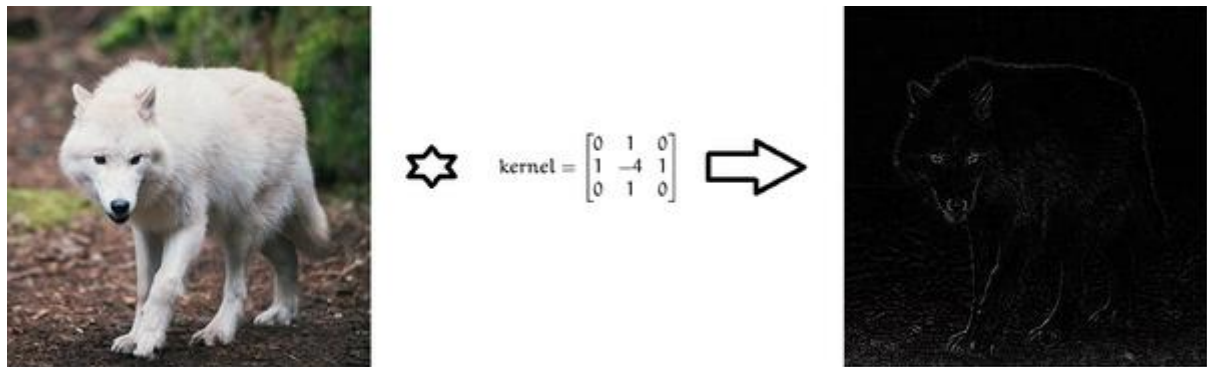
Figura 2.1 – Filtro de Convolução



Fonte: BRANDIZZI, 2020

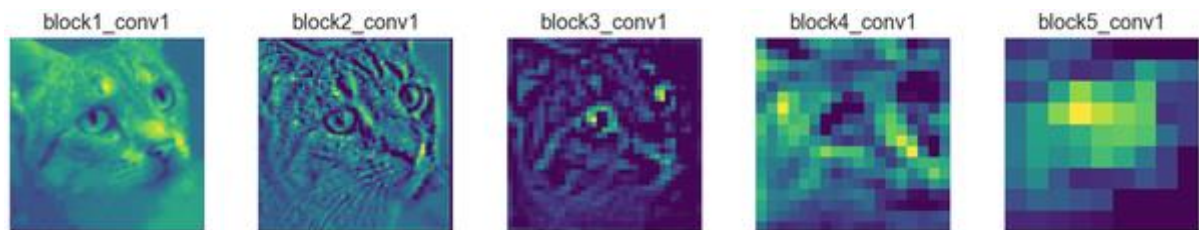
Como ilustrado na Figura 2.1, vemos um filtro de convolução, onde basicamente é feita uma filtragem utilizando uma matriz menor que percorre os pixels da imagem capturada e geram uma nova imagem, através da convolução, chamada de *Feature Map* (**BRANDIZZI, 2020**).

Figura 2.2 –Geração de Feature Map por um filtro Kernel



Fonte: BRANDIZZI, 2020

Figura 2.3 – Geração de *Feature Maps*



As Figuras 2.2 e 2.3 traz outro exemplo de geração de Feature Map do processamento por uma convolução de uma matriz Kernel, este processo pode ser executado várias vezes seguidas, até obter o resultado adequado que permite a rede neural extrair as características desejadas dos objetos. (BRANDIZZI, 2020).

3 METODOLOGIA

Através da eletrônica embarcada e o sistema de visão computacional utilizando algoritmos de inteligência artificial, o projeto NIKOLA.I. realiza a coleta em tempo real da imagem do ambiente Industrial, posteriormente encaminha para o processamento em nuvem, possibilitando o monitoramento do posto de trabalho quanto a negligência de uso do EPI.

Objetivos específicos:

- a. Diminuir a incidência de acidentes de trabalho pela falta de uso do EPI;
- b. Garantir a segurança do trabalhador no ambiente Industrial;

- c. Gerar banco de dados dos eventos, permitindo a gestão das informações para notificações junto ao colaborador e respaldo jurídico;
- d. Diminuir custos provenientes do acidente de trabalho;
- e. Disponibilizar uma plataforma online para análise dos eventos;
- f. Processar informações empregando o uso da inteligência artificial;
- g. Atuar em todos os seguimentos da Indústria.

A solução proposta foi desenvolvida em duas etapas, em um primeiro momento a I.A. (Inteligência Artificial) é treinada para detectar padrões nas fotos que são capturados através de uma câmera. A imagem é composta de uma matriz tridimensional onde algoritmos matemáticos identificam objetos que foram treinados de maneira supervisionada. O objeto a ser detectado, será uma máscara de proteção facial utilizada no processo de soldagem, na etapa de treinamento da I.A. cerca de 50 fotos da máscara foram selecionadas para gerar o padrão necessário. Após testes e validações dos retornos da análise da I.A., foi trabalhado a API (Interface de Programação de Aplicação), que será responsável em publicar os dados da análise, retornando um *score* que reflete o grau de certeza de identificação da máscara no ambiente de trabalho. Em um segundo momento, foi desenvolvido um ambiente gráfico, atuando como uma interface homem máquina (IHM) para o cliente, mostrando em tempo real a imagem da câmera da cabine a ser monitorada, juntamente com o histórico de envios, análises e alertas de não uso de EPI. O projeto é composto por um hardware de processamento, integrado ao software.

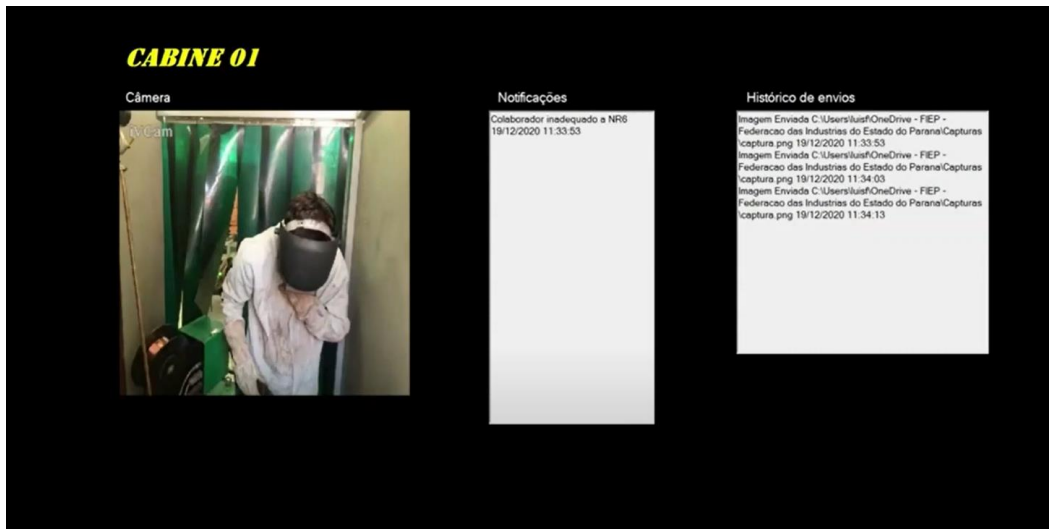
O software supervisor foi desenvolvido através do Visual Studio, utilizando a linguagem de programação C#, cujo a versão é *opensource*. O funcionamento do processo segue o fluxo de envio de imagens obtidas através das câmeras, que podem ser monitoradas pela interface do sistema, instaladas em cada cabine, que posteriormente são enviadas para a nuvem, gerando o log de envios e são salvas no banco de dados na nuvem dentro da plataforma da Azure; essas imagens são encaminhadas pelo banco de dados através dos Serviços Cognitivos da Azure, programados para detecção de objeto, retornando o relatório de cada imagem enviada. Com o retorno, o software irá analisar se há ou não uso de EPI. O hardware é composto de câmeras de alta resolução, eletrônica embarcada com processamento computacional e microprocessado.

Analisando a necessidade da alta produtividade no setor industrial, é fundamental para se ter um diferencial competitivo no mercado, assegurar a saúde e segurança dos colaboradores nos processos, em conjunto com a busca por avanços tecnológicos para se otimizar os mesmos. O NIKOL.A.I traz um diferencial de ser inovador, pois utiliza tecnologias atuais na busca de soluções de demandas atuais, como no caso a I.A. voltada para a Visão Computacional que atua na Cloud, também traz a segurança para os colaboradores, mantendo uma relação de confiança entre o colaborador e a indústria, reduzindo o número de acidentes e riscos, conseqüentemente, os custos, onde podemos concluir através dos resultados obtidos com as pesquisas, experimentos e feedbacks de profissionais da área. Buscamos inserir o protótipo no mercado, que demonstra ser carente de soluções para o monitoramento de equipamentos de segurança de forma inteligente, através de pequenas e médias empresas de qualquer segmento, em busca de acessibilidade para estes clientes e como forma de buscar novos aprimoramentos, expandido cada vez mais o funcionamento e a precisão das análises, agregando cada vez mais valor para nosso produto por conta da alta tecnologia utilizada no mesmo.

4 APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Para viabilização do protótipo da solução foi aplicada no prédio da área de metalúrgica do SENAI Londrina, onde dispõe de cabines juntamente com os EPI's necessários para trabalhar com solda com eletrodo. Dessa forma inserimos uma câmera com a proteção necessária no interior da cabine para não ocorrer nenhum dano ao equipamento, e integramos o firmware do dispositivo ao nosso software (Figura 4.1) para realizar a coleta de dados e a comunicação com a cloud computing com a API de Visão Computacional.

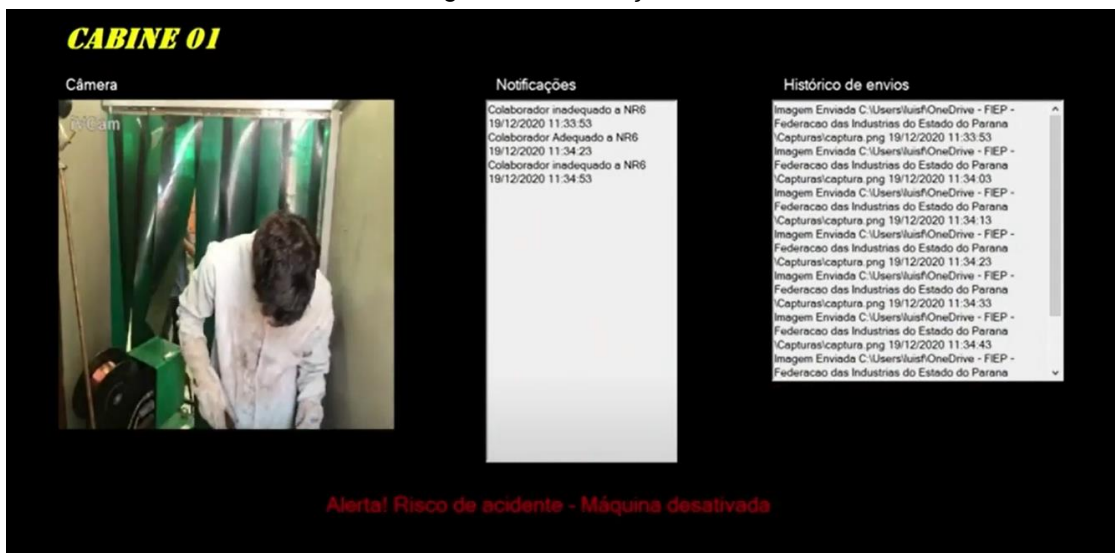
Figura 4.1 – Interface de supervisão



Fonte: Dos Autores

Como ilustrado pela Figura 4.1 (capturada durante a aplicação do projeto piloto) a interface do sistema é composta por informações da câmera em tempo real, e dois painéis de notificações e um histórico de envios para a nuvem. O painel de notificações é o responsável por mostrar os indicadores relacionado ao uso do EPI pelo colaborador, informando se está adequado ou não á NR6 e a data da análise.

Figura 4.2 – Situação de Alerta

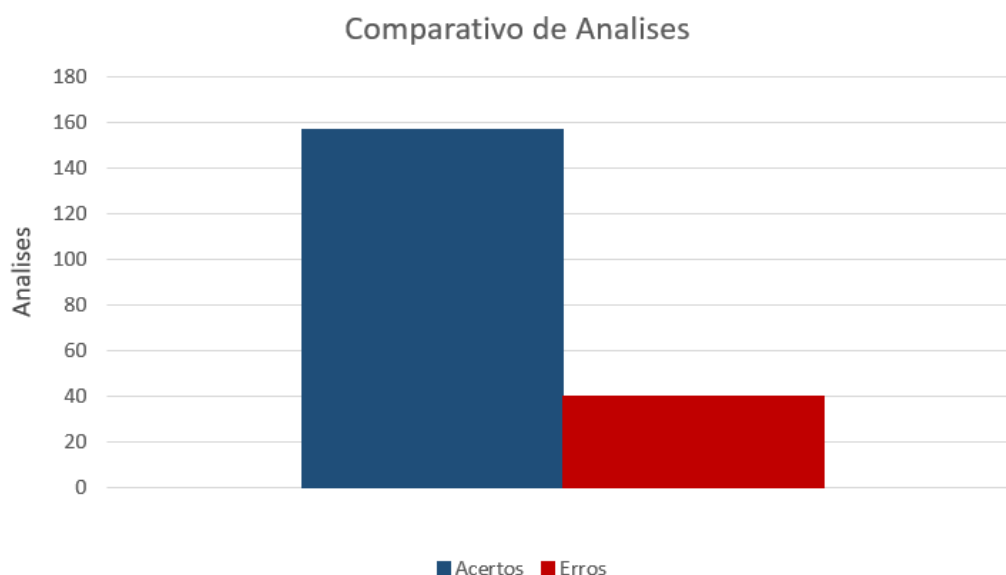


Fonte: Dos Autores

Na Figura 4.2 é ilustrado a situação de alerta do nosso sistema, onde nosso colaborador está sem o equipamento de proteção e surge um indicador “Alerta! Risco

de acidente – Máquina desativada” onde é acionado um controle para a desativação remota da máquina de solda, impedindo o colaborador de realizar o processo sem o EPI.

Figura 4.3 – Gráfico de Análises



Fonte: Dos Autores

Durante o período de testes obtivemos uma margem de acerto de aproximadamente 74,5%, como ilustrado pelos gráficos na Figura 4.3, devido a posição da câmera e a boa iluminação do ambiente e pela quantidade de imagens que utilizamos para treinar o modelo da Visão computacional, se somaram para obtermos esse percentual. É possível melhorar esse percentual através do treinamento dinâmico utilizando imagens do ambiente a ser analisado pela Visão Computacional, com variações de ambiente por exemplo, ângulo da câmera, iluminação, qualidade de imagem, etc... Além de melhorias funcionais do projeto, como a detecção de vários EPI's de maneira simultânea, EPI's com finalidades diferentes, detecção através de mais de uma câmera, levando a escalabilidade do projeto, visto que pode ser tudo integrado a um único sistema supervisorio.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A viabilização do projeto é possível pela alta incidência de casos de acidentes de trabalho alinhado pela negligência do uso do EPI no âmbito Industrial, assim o projeto traz, de forma inovadora e tecnológica, o controle do uso destes EPIs.

Dessa forma o NIKOL.A.I. traz um grande potencial, pois sua forma inovadora de utilizar serviços do ramo da I.A., como no caso a Visão Computacional se torna um diferencial no mercado. Chegamos a esta conclusão através de testes realizados no setor da soldagem nas instalações do SENAI Londrina, onde foi montado uma estrutura com o monitoramento, e realizamos o teste com um discente com e sem o uso do capacete de solda, onde concluímos que o sistema atendeu a expectativa de identificar o equipamento de segurança e também notificar quando não há o uso de EPI.

De maneira a consolidar o projeto, a equipe inscreveu a solução em dois editais com o tema de inovação e empreendedorismo, sendo eles respectivamente, DESAFIO SENAI DE PROJETOS INTEGRADORES 2020, onde a equipe recebeu a premiação de primeiro lugar na etapa de avaliação nacional do projeto, e o outro edital Desafio Microsoft: Solucionando desafios da indústria brasileira com Inteligência Artificial (IA), o projeto também recebeu uma excelente avaliação resultando também no primeiro lugar a nível.

REFERÊNCIAS

COELHO, P. N. M. **Rumo à indústria 4.0**. 2016. 65 f. Dissertação - Departamento de Engenharia Mecânica, Faculdade de Ciências e Tecnologia Universidade de Coimbra, Portugal, 2016. Disponível em <<https://estudogeral.sib.uc.pt/bitstream/10316/36992/1/Tese%20Pedro%20Coelho%20Rumo%20%C3%A0%20Industria%204.0.pdf>>. Acesso em: 23 de abril 2019.

PASTORE, José. O custo dos acidentes e doenças do trabalho no Brasil. 2011. 1 f. Artigo, Brasil, 2011. Disponível em <http://www.josepastore.com.br/artigos/rt/rt_320.htm>. Acesso em: 20 de julho 2021.

FERREIRA, M. de M.; SOUZA, C. E. dos S.; RIBEIRO, C. A.; GALDINO, D. B.; RICCI, G. L. Avaliação sobre a prevenção de riscos na atividade de trabalho em prensas. Iberoamerican Journal of Industrial Engeneering, v. 4, n. 8, p. 48-68, 2012.

NORVIG, Peter. Inteligência Artificial. 3a ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2013.

GONZALEZ, R. C.; WOODS, R. E. Processamento Digital de Imagens. [S.l.: s.n.], 2009. 623 p.

GERONIMO, D. et al. Trac sign recognition for computer vision projectbased learning. Education, IEEE Transactions on, v. 56, n. 3, p. 364{371, 2013. ISSN 0018-9359

MARQUES FILHO, Ogê; VIEIRA NETO, Hugo. Processamento Digital de Imagens, Rio de Janeiro: Brasport, 1999.

MICROSOFT. C#. Disponível em <https://docs.microsoft.com/pt-br/dotnet/csharp/>. Acesso em: 20 de julho 2021.

MICROSOFT. Visual Stúdio. Disponível em <https://visualstudio.microsoft.com/pt-br/> . Acesso em: 20 de julho 2021.

MICROSOFT. Azure. Disponível em <https://azure.microsoft.com/pt-br/> . Acesso em: 20 de julho 2021.

IBR. Reconhecimento Visual. Disponível em <https://developer.ibm.com/br/technologies/vision/articles/introduction-computer-vision/> Acesso em: 20 de julho 2021.

NVIDIA. O que é visão computacional. Disponível em https://blog.nvidia.com.br/2020/12/11/o-que-e-visao-computacional/?nv_excludes=1984,1989. Acesso em: 20 de julho 2021.

WANGENHEIN, Aldo Von. Introdução à visão computacional. Seminário Introdução à Visão Computacional para a disciplina Introdução à Visão Computacional junto à Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC. Florianópolis, 2001. Disponível em: <http://www.inf.ufsc.br/~visao/> . Acesso em: 02 jun 2013.

MONGELO, Arnaldo Ibanhe. Validação de método baseado em visão computacional para automação da contagem de viabilidade de leveduras em indústria alcooleiras. Dissertação (Mestre em Biotecnologia) apresenta ao Programa de Pós-Graduação em Biotecnologia da Universidade Católica Dom Bosco – UCDB. Campo Grande, 2012. Disponível em: www.gpec.ucdb.br/pistori/publicacoes/arnaldo_sbiagro2011.pdf . Acesso em: 02 jun 2013.

BRANDIZZI, Loreane E. N. Visão computacional: O que é? Como funciona?. SERPRO, Brasília, DF, 07 de abril de 2020. Disponível em: <https://www.serpro.gov.br/menu/noticias/noticias-2020/o-que-eh-visao-computacional>. Acesso em: 20 de julho 2021

Capítulo III: Uma abordagem para manutenção preditiva em equipamentos de rede de distribuição por meio de imagens termográficas e lógica *fuzzy*

Alexandre da Silva ¹

Fabício Augusto de Souza²

Hugo Cezar Araujo Lozano ³

Renato Kazuo Miyamoto ⁴

Vicente de Lima Gongora⁵

RESUMO

Este trabalho apresenta uma metodologia de manutenção preditiva em equipamentos de rede de distribuição elétrica através de imagens termográficas e análise utilizando Lógica Fuzzy. A partir do registro da imagem termográfica são extraídas informações de temperatura, verificando as variações de entre o elemento analisado e o elemento de referência sob as mesmas condições de ambiente. Conforme análise da diferença de temperatura entre os componentes e a temperatura máxima medida é adotado um tipo manutenção para correção da anomalia, evitando uma falha indesejada. O presente estudo tem como finalidade propor uma técnica inteligente de análise termográfica na identificação e classificação de anomalias na inspeção de redes elétricas de distribuição utilizando a Lógica Fuzzy.

Palavras-chave: Termografia; Manutenção; Conectores; Temperatura; Fuzzy.

An approach for predictive maintenance in distribution network equipment through thermographic images and fuzzy logic

ABSTRACT

This work presents a predictive maintenance methodology in electrical distribution grid equipment through thermographic images and analysis using Fuzzy Logic. From the thermographic image record, temperature information is extracted, verifying the variations between the analyzed element and the reference element under the same environmental conditions. According to the analysis of the temperature difference between the components and the maximum temperature measured, a maintenance type is adopted to correct the anomaly, avoiding an unwanted failure. The present study aims to propose an intelligent technique of thermographic analysis in the identification and classification of anomalies in the inspection of electrical distribution networks using Fuzzy Logic.

Keywords: Thermography; Maintenance; Connectors; Temperature; Fuzzy.

¹ Especialista em Sistemas Elétricos, ² Mestre em Engenharia Elétrica, ³ Especialista em Automação e Controle de Processos Industriais, ⁴ Doutor em Engenharia Elétrica, ⁵ Doutor em Engenharia Elétrica.

1. INTRODUÇÃO

Manutenção preditiva significa atuar com técnicas específicas, sobre parâmetros de condição e desempenho, com a finalidade de permitir o maior tempo possível de operação do equipamento, antes que falhe, proporcionando aumento de produção e de faturamento (WANG et. al, 2021; ALBUQUERQUE, 2011). Assim, a manutenção preditiva é aquela executada antes da falha, face ao conhecimento das condições operacionais, determinadas pelo monitoramento contínuo. Seu objetivo principal é determinar o momento mais adequado da necessidade da intervenção, permitindo entre outros aspectos, evitar-se desmontagens desnecessárias para inspeção e utilizar-se os componentes ao máximo em sua vida (OLIVEIRA, 2010).

A termografia é uma ferramenta que se destaca em rotinas de manutenção preditiva, sendo empregada na atividade industrial em geral, incluindo os setores de geração, transmissão e distribuição de energia. Ainda, observa-se que os avanços tecnológicos têm permitido a chegada ao mercado de equipamentos termógrafos com melhoria nos recursos e custos acessíveis, permitindo uma ampliação das perspectivas de seu emprego no âmbito da manutenção preditiva (ZANG et al., 2021; RIBEIRO, 2010).

Nas redes de distribuição, a temperatura e a corrente elétrica são variáveis mensuradas durante as inspeções em campo, acompanhadas através de devidas análises. Posteriormente, são implantadas as ações de manutenção corretiva, contribuindo para ganhos energéticos e oportunidades de redução de custos. No entanto, as paradas para a manutenção corretiva geram gargalos nos alimentadores e em alguns casos, a interrupção de fornecimento de energia elétrica para o consumidor (ALBUQUERQUE, 2011).

Desse modo, a proposta desse trabalho fundamenta-se em apresentar uma nova visão de avaliação quanto a definição de estratégias de manutenção preditiva utilizando termografia. Através de cálculos unitários, sobre valores medidos com o apoio da técnica termográfica, uma análise é realizada utilizando lógica Fuzzy, buscando ganhos energéticos e identificação e classificação de anomalias na rede elétrica do sistema de distribuição.

2. TERMOGRAFIA

A termografia, nos aspectos que se referem ao calor incidente sobre o equipamento termográfico, toma por base os fenômenos da emissão e da propagação da energia fotônica radiante, correspondente à faixa infravermelha (IV) do espectro eletromagnético (da ordem de 0,8 a 1000 μm), naturalmente emitida pelos corpos, e o processo de sua detecção. No processo termográfico, após se propagar, esta energia radiante é detectada por dispositivo transdutor (fotocondutivo, fotovoltaico ou térmico), sensível a comprimentos de onda nessa faixa: o detector de IV. Sinal elétrico é gerado por este dispositivo (em decorrência da radiação incidente), sendo em seguida eletronicamente processado para a obtenção das imagens térmicas ou os registros digitais de temperatura (ZANG et al., 2021).

A compreensão do processo da emissão de calor pelos corpos, parte do princípio de que, todo corpo, com temperatura acima do zero absoluto ($0\text{ K} = -273\text{ }^\circ\text{C}$), emite naturalmente energia fotônica a partir de sua superfície. O valor da energia do fóton emitido é função inversa do comprimento de onda (e direta da frequência) da radiação eletromagnética correspondente. Os fenômenos quânticos que se dão no processo de detecção de IV pelo termógrafo levam em conta tais relações. A temperatura em K da superfície emissora guarda, por sua vez, relação direta com o comprimento de onda de máxima emissão (Radiância espectral máxima ou emitância radiante espectral máxima) da mesma. A lei do deslocamento de Wien para um corpo negro (emissor de máxima emitância) estabelece esta relação (OLIVEIRA, 2010).

Esta lei exprime quantitativamente o fato de que a radiância espectral máxima se dá em comprimentos de onda progressivamente mais curtos à medida que a temperatura aumenta. Ressalte-se ainda que a energia total (energia emitida em todo o espectro) radiada por segundo, por unidade de área (radiância ou emitância radiante total), para um corpo negro. Para complementar o entendimento dos parâmetros envolvidos no processo das análises termográficas, é importante também definir-se (WANG et. al, 2021):

- Temperatura do objeto emissor: parâmetro que mede indiretamente a energia cinética média dos átomos e moléculas. Sempre que existir gradiente de temperatura no interior de um sistema, haverá transferência de energia no sentido das mais altas para as mais baixas temperaturas.

- Emissividade do objeto emissor: é um índice relativo à energia radiada de um objeto; para uma dada temperatura, é definida pela relação entre a emitância radiante do corpo considerado e a emitância radiante do corpo negro. O valor da emissividade é função direta da natureza do material, em sua superfície, e da sua temperatura.

Na formação da imagem térmica dos objetos em estudo, estão presentes os comprimentos de onda relativos ao espectro IV emitido, correspondentes às temperaturas e energias térmicas emitidas por cada uma das partes e pontos do objeto. A Figura 1 apresenta a imagem térmica com a respectiva imagem do equipamento.

Figura 1 - Imagem Elemento Capacitor – SE Bandeirantes (Copel)



Fonte: acervo do autor.

A Termografia cumpre um papel importante na manutenção preditiva. Seu emprego permite tipicamente identificar e eliminar problemas de contatos e isolamento, permitindo evitar falhas elétricas. Falhas mecânicas e processos de fadiga de materiais também podem ser avaliados. Com intuito de prevenir a partir de monitoração, a inspeção termográfica se torna indispensável para qualquer empresa que tenha por objetivo manter o bom funcionamento de seus equipamentos e por consequência diminuir custos, otimizar emprego de mão de obra e materiais, bem como melhorar a segurança no trabalho (ALBUQUERQUE, 2011).

Duas importantes e essenciais vantagens podem ser apontadas ao se pensar em termografia na manutenção (ZANG et al., 2021):

- Redução do tempo e dos custos das desmontagens, reparações e montagens de componentes, particularmente útil em situações em que o cerne do problema nem sempre é de fácil estabelecimento. A inspeção termográfica permite, entretanto, identificá-lo de forma precisa e proceder à reparação agindo somente no componente afetado.
- Permitir que problemas graves, que possam estar em processo iminente de produzir falha, sejam facilmente identificados, havendo tempo para a sua reparação antes de maiores efeitos danosos (aspecto especificamente preditivo). Na realidade, na maioria dos casos, é possível identificar o problema muito antes de vir a se tornar crítico. Dependendo da temperatura, a decisão de reparação pode ser tomada com suficiente antecedência e bom planejamento.

3. METODOLOGIA

O estudo foi executado nos pontos tipicamente sensíveis nas partes das subestações de distribuição de energia elétrica e aspectos básicos para avaliação de suas condições operacionais via inspeção termográfica. Atualmente a verificação é realizada conforme variação de temperatura entre o elemento em funcionamento e o elemento com temperatura elevada, também chamado delta T (ΔT). Seguindo os critérios para definição das intervenções conforme Tabela 1.

Tabela 1 - Planejamento de inspeções e manutenção termográficas nos pontos quentes

Equipamento	Elementos a inspecionar	Sem manutenção	Tipo de manutenção		
			Normal	Urgente	Emergência
Conectores		0 a 10°C	10 a 30°C	30 a 55°C	> 55°C
Chaves	Lâminas	0 a 10°C	10 a 35°C	35 a 70°C	> 70°C
	Cordoalhas	0 a 10°C	10 a 25°C	25 a 50°C	> 50°C
	Corpo das buchas	0 a 8°C	8 a 15°C	15 a 30°C	> 30°C

Trafo de força	Tap das buchas	0 a 8°C	8 a 15°C	15 a 30°C	> 30°C
	Radiadores	0 a 6°C	6 a 10°C	10 a 15°C	> 15°C
	Painel de fiação	0 a 8°C	8 a 15°C	15 a 30°C	> 30°C
	Ventiladores	0 a 8°C	8 a 15°C	15 a 30°C	> 30°C
TP e TC	Cabeçote	0 a 8°C	8 a 15°C	15 a 30°C	> 30°C
	Base tanque	0 a 8°C	8 a 15°C	15 a 30°C	> 30°C
Para raio	Coluna isolante	0 a 3°C	3 a 5°C	5 a 8°C	> 8°C
Cabos mufla	Corpo dos terminais	0 a 5°C	5 a 8°C	8 a 12°C	> 12°C
	Cabos mufla	0 a 8°C	8 a 15°C	15 a 30°C	> 30°C
Capacitores	Tanque capacitor	0 a 5°C	5 a 8°C	8 a 12°C	> 12°C

Condutores poderão ser inicialmente verificados por inspeção visual em toda extensão do cabo, quanto à existência de rompimento para, em seguida, identificar com a termografia, existência de algum aquecimento por resistência à passagem da corrente elétrica alterada. Também é necessária verificação das condições das emendas (ZANG et al., 2021).

Em transformadores verificam-se todas as conexões pertinentes nas interligações entre para-raios, chaves fusíveis, estribos, terminais de buchas do secundário e primário e conexão com a rede principal de distribuição de baixa tensão. Aquecimentos excessivos poderão ser identificados nas conexões internas das bobinas, nas buchas, bem como os decorrentes de nível de óleo refrigerante baixo, de sobrecargas e outros (ALBUQUERQUE, 2011).

Na avaliação em religadores, reguladores e banco de capacitores, devem-se verificar todos os pontos de conexão e interligação dos equipamentos com a rede principal de distribuição de média tensão. Aquecimentos excessivos internos poderão ser identificados nas garras das conexões internas do sistema mecânico de fechamento e abertura dos equipamentos (WANG et. al, 2021).

Os isoladores, para-raios, chaves fusíveis e chaves seccionadoras em geral são dispositivos compostos de contatos ou mecanismos de fechamento e abertura, que sob carga e tensão apresentam uma sensibilidade maior ao aquecimento caso não sejam adequadamente apertados e acomodados em suas posições. Deverá ser verificada numa inspeção termográfica a presença ou não de aquecimento excessivo pela passagem de corrente à terra devido à presença de trincas, lascas, rachaduras, chamuscados e desgaste em geral nas porcelanas ou camadas poliméricas (OLIVEIRA, 2010).

As conexões que ligam os condutores aos equipamentos, muitas vezes não lembradas, porém são de vital importância ao funcionamento correto do sistema elétrico. Quando seu desempenho não é satisfatório acarretam problemas na transmissão e distribuição de energia elétrica. Em virtude disto fazer uma inspeção termográfica nestes elementos é prioritário ao sistema (RIBEIRO, 2010).

Deve-se verificar as conexões mais utilizadas em rede aérea de distribuição: conector tipo cunha; conector terminal de parafuso; conector de auto perfuração para cabos isolantes; conector de parafuso, entre outros.

A proposta deste trabalho é de que a classificação de intervenções que atualmente é realizada conforme os dados da Tabela 1, considerando apenas ΔT , seja classificada utilizando também a informação da máxima temperatura admissível (MTA) para cada elemento. A MTA dos conectores de alta tensão utilizados nas redes de distribuição e subestações pode ser observado na Tabela 2, em que também estão a MTA de outros equipamentos.

Tabela 2 – Máxima temperatura admissível.

Componente	MTA °C
Fios encapados (dependendo da classe de isolamento)	70 a 110
Régua de bornes	70
Conectores de alta tensão (>500V)	90
Cabos isolados 15kV	70
Conexões mediante parafuso	90
Conexões e barramentos de baixa tensão	90
Conexões de linhas de transmissão aérea	70

Conexões recobertas de prata ou níquel	90
Fusíveis (corpo)	100
Transformadores a óleo, ponto mais quente (núcleo)	80
Transformadores a óleo (óleo)	65
Transformadores Secos classe de isolação 105	65
Transformadores Secos classe de isolação 130	90
Transformadores Secos classe de isolação 155	115
Transformadores Secos classe de isolação 180	140

4. APLICAÇÃO DA LÓGICA FUZZY

Existem duas maneiras de fazer a medição de temperatura na termografia, como pode observado na sessão anterior. O primeiro é “quantitativo”, que terá o valor exato de temperatura dos objetos, também chamado de MTA. Este método não é geralmente verificado durante a inspeção térmica já que a precisão desses valores é frequentemente afetada por fatores ambientais, tais como a temperatura do ambiente atual, umidade e emissividade (NBR 5462, 1994).

O segundo tipo é “qualitativa”. Nesta análise ao invés de usar apenas o valor da temperatura do cabo para se fazer o diagnóstico é utilizado a diferença entre o valor de temperatura do cabo, a MTA, e o valor de temperatura de outras partes do equipamento/estrutura com condições semelhantes, temperatura de referência, de acordo com a equação (1) (WANG et. al, 2021).

$$\Delta T = MTA - T_{ref} \quad (1)$$

Na proposta é que seja utilizado os dois métodos de medida através da Lógica Fuzzy para a realização das intervenções de manutenção. A teoria de conjuntos Fuzzy permite especificar quão bem um objeto satisfaz uma descrição não determinística. Utiliza-se um valor numérico do intervalo [0,1], chamado grau de pertinência, para dimensionar o quanto um objeto pertence a uma determinada classe Fuzzy.

Um conjunto Fuzzy é formado por elementos que não estão classificados de uma forma determinada, exemplos: morno, pequeno, perto, ativo, quase, alto,

parcialmente. A Lógica Fuzzy vem sendo aplicada nas seguintes áreas: i) Análise de dados; ii) construção de sistemas especialistas; iii) controle e otimização; iv) reconhecimento de padrões (RIBEIRO, 2010).

Pelos motivos já citados anteriormente o estudo será realizado em conexões do sistema elétrico de potência. Com o auxílio da Tabela 3 e com os dados da MTA dos conectores de AT da Tabela 2, é possível classificar as necessidades de intervenção de manutenção levando em consideração apenas a MTA.

Tabela 3 - Classificação das intervenções de acordo com a MTA

MTA	Classificação
Abaixo de 70%	Sem manutenção
De 70 a 80%	Normal
De 80 a 90%	Urgente
De 90% a 110%	Emergência

A Tabela 4 ilustra a classificação proposta segundo a MTA:

Tabela 4 - Classificação das intervenções de acordo com a MTA dos conectores

Componente	Sem Manutenção	Tipo de Manutenção		
		Normal	Urgente	Emergência
Conectores	0 a 63°C	63 a 72°C	72 a 81°C	81 a 99°C

A Tabela 5 ilustra a classificação apenas dos conectores de MT segundo o critério ΔT .

Tabela 5 - Classificação das intervenções de acordo com a ΔT dos conectores

Componente	Sem Manutenção	Tipo de Manutenção		
		Normal	Urgente	Emergência
Conectores	0 a 10°C	10 a 30°C	30 a 55°C	> 55°C

Cada uma das Tabelas 4 e 5 utilizadas para a classificação dos conectores podem ser convertidas para um conjunto de funções de pertinência Fuzzy. A Função de pertinência reflete o conhecimento que se tem em relação a intensidade com que

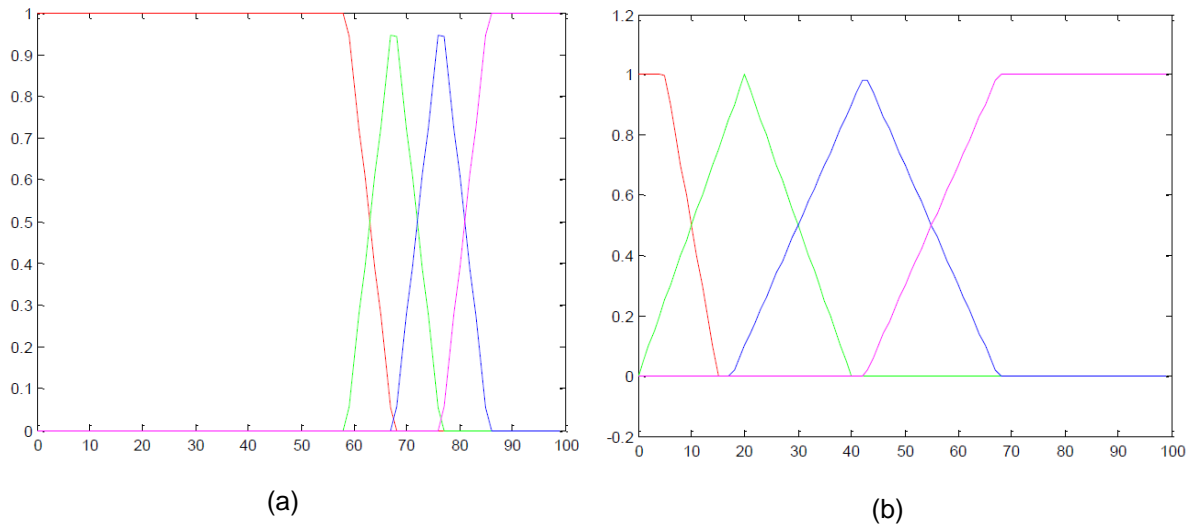
o objeto pertence ao conjunto Fuzzy. Os conjuntos Fuzzy são as classes sem manutenção, Normal, Urgente e Emergência. Uma descrição mais detalhada destes conjuntos é apresentada no Quadro 1:

Quadro 1 - Classificação das intervenções de acordo com a ΔT dos conectores

Classificação	Comentários
Sem Manutenção	Reparar de conformidade com as datas do plano regular de manutenção. Pequena possibilidade de falha ou danos físicos no componente.
Normal	Reparar quando possível. Verifique a possibilidade de danos físicos no componente.
Urgente	Reparar o mais rápido possível. Se necessário troque o componente e inspecione os adjacentes a procura de danos físicos. Há possibilidades de falha no componente.
Emergência	Reparar imediatamente. Troque o componente, inspecione os adjacentes e troque-os se necessário. É grande a possibilidade de falha no componente.

Para cada valor de MTA e ΔT é atribuído um grau de pertinência da situação do cabo conforme as curvas do gráficos da Figura 2.

Figura 2 - Funções de pertinência. (a) Máxima temperatura admissível; (b) Delta T



Fonte: elaborado pelo autor.

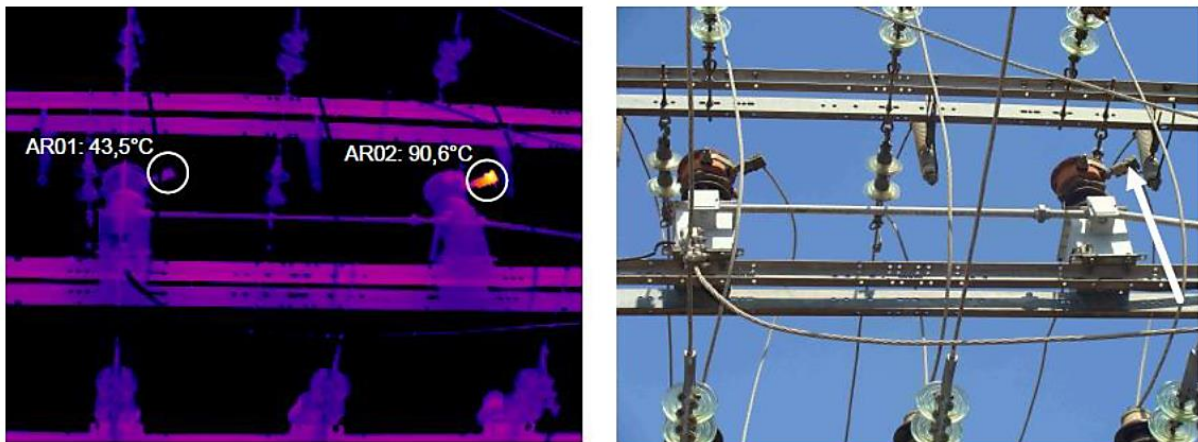
Os valores I_s , I_r , I_u e I_e indicam o valor de pertinência de cada tipo de intervenção de acordo com a temperatura máxima medida no conector para cada uma das classes “Sem manutenção”, “Normal”, “Urgente” e “Emergência”, respectivamente. E os valores $I_{s\Delta}$, $I_{r\Delta}$, $I_{u\Delta}$ e $I_{e\Delta}$ indicam para o ΔT medido os fatores de pertinência do cabo para cada uma das classes “Sem manutenção”, “Normal”, “Urgente” e “Emergência”.

A situação final do conector é dada pela classe que tiver o maior grau de pertinência médio. Ou seja, para cada classe somam-se os percentuais e divide por dois e o percentual médio maior é o que determina a situação do conector.

5. ESTUDO DE CASO

Nesta sessão foram coletadas e analisados 4 inspeções termográficas de subestações (6 conexões) de algumas cidades do norte do Paraná, observando como as mesmas foram classificadas de acordo com o tipo de intervenção segundo apenas o critério do ΔT , em seguida será feita a aplicação da proposta do trabalho e a comparação entre os resultados. A Figura 3 ilustra uma imagem de aquecimento na conexão da saída de um cabo ligado a um transformador de corrente (TC).

Figura 3 - Imagem de aquecimento na conexão de saída ao cabo, fase B, de um TC na SE de Jataizinho



Fonte: acervo do autor.

Neste exemplo, o aquecimento na conexão de saída de um TC na SE Jataizinho possui os seguintes dados $MTA = 90,6^{\circ}\text{C}$, $T_{ref.} = 43,5^{\circ}\text{C}$, portanto $\Delta T = 47,1^{\circ}\text{C}$. Sendo assim foi classificada pelo método ΔT como uma manutenção do tipo urgente.

Aplicando apenas o método MTA, a MTA encontrada nas conexões é $90,6^{\circ}\text{C}$ o que corresponde à 100% da MTA de referência para conectores de alta tensão, de acordo com a Tabela 2. Assim, de acordo com a Tabela 1, este exemplo seria classificado como uma manutenção do tipo emergencial.

Já aplicando o método proposto utilizando a linguagem Fuzzy, onde foram encontrados valores de $MTA = 90,6^{\circ}\text{C}$ e $\Delta T = 47,1^{\circ}\text{C}$, pelos gráficos da Figura 2, encontram-se as seguintes porcentagens de pertinência:

- $l_s = 0$;
- $l_{s\Delta} = 0$;
- $l_n = 0$;
- $l_{n\Delta} = 0$;
- $l_u = 0$;
- $l_{u\Delta} = 0,6$;
- $l_e = 1$;
- $l_{e\Delta} = 0,2$;

Então calcula-se os fatores de pertinência médios:

- *Is = 0;
- *In = 0;
- *Iu = 0,3;
- *Ie = 0,6.

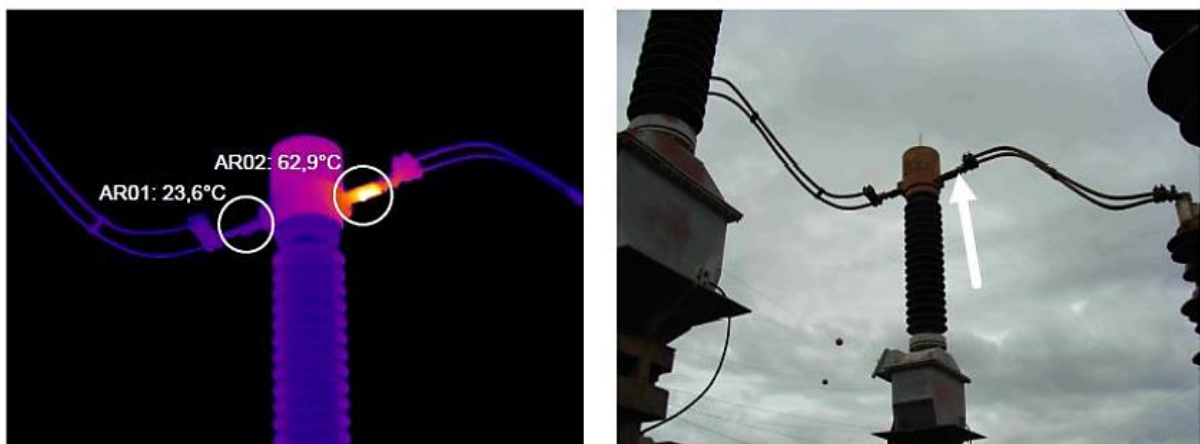
A maior pertinência média é de $I_e = 0,6$ que corresponde a classificação de manutenção de emergência na conexão, portanto dever ser tomada uma ação de reparo na conexão imediatamente. Enfim, aplicando o método para outros 5 casos de acordo com as Figuras 4, 5 e 6, tem-se a Tabela 6.

Figura 4 - Imagem de aquecimento na conexão da bucha ao cabo, fase B, de um religador na SE de Jataizinho



Fonte: acervo do autor.

Figura 5 - Imagem de aquecimento na conexão da saída ao cabo, fase V, de um TC na SE de Andirá



Fonte: acervo do autor.

Figura 6 - Imagem de aquecimento no conector ao cabo, fase A, fase B e fase V, de uma seccionadora na SE de Ibaíti



Fonte: acervo do autor.

Tabela 6 - Temperaturas e classificações das intervenções

Figura	Conexão	ΔT °C	MTA °C	% MTA ref	Classificação ΔT °C	Classificação MTA °C	Classificação Fuzzy
3	AR02	47,1	90,6	100	Urgente	Emergência	Emergência
4	AR02	26,1	68,6	76	Normal	Normal	Normal
5	AR02	39,3	62,9	70	Urgente	Normal	Urgente
6	AR02	24,4	50,4	56	Normal	Sem manut.	Sem manut.
6	AR03	13,2	39,2	44	Normal	Sem manut.	Sem manut.
6	AR04	12,3	38,3	43	Normal	Sem manut.	Sem manut.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A classificação de intervenções de manutenção em equipamentos do sistema elétrico constitui uma importante ação na prevenção de falhas no sistema. Sendo assim, é essencial que um bom método de classificação para se obter menores taxas de falhas e menores custos associados às manutenções.

Na maioria das concessionárias de distribuição de energia elétrica, este método de classificação de intervenções de manutenção possui apenas uma variável, que é a ΔT observado na inspeção.

Este trabalho vem propor uma classificação utilizando dois conjuntos, as ΔT e as TMA, através da Lógica Fuzzy, observando bons resultados como é o caso do primeiro exemplo analisado, onde na classificação atual a manutenção na conexão AR02 era urgente, porém na nova classificação através da Lógica Fuzzy é um serviço emergencial com risco iminente de falha e/ou acidente.

Portanto, pode-se considerar que os resultados deste estudo são análogos para outros componentes do sistema elétrico e, este novo método de classificação traz benefícios relacionados a diminuição custos que envolve a manutenção de redes, a prevenção de desligamentos e acidentes em caso de falha de equipamentos.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 5410 – Instalações Elétricas de Baixa Tensão, Rio de Janeiro, 1997.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 5462 – Confiabilidade e manutenibilidade. Rio de Janeiro, 1994.

ALBUQUERQUE, Carlos Jesivan Marques; FORTES, Marcio Zamboti; SOUZA, Marcos Paulo. Ações Preditivas na Manutenção – Termografia: uma visualização de oportunidade de ganhos energéticos. In: IV Congresso Brasileiro de Eficiência Energética, 2011, Juiz de Fora- MG. IV CBEE 2011.

RIBEIRO, Alyson Bezerra Nogueira Ribeiro; CAVALCANTE, Tarique Silveira; FILHO, Pedro Pedrosa Reboças; SILVA, Cesar Cipelli Silva. Desenvolvimento de Sistema para análise de termografia visando detectar falhas utilizando processamento digital de imagens. In VI Congresso Nacional de Engenharia Mecânica, 2010, Campina Grande – Paraíba. VI CONEM 2010.

ANEXO PADRÃO TERMO 130607. Termografia, técnica que estente a visão humana ao espectro infravermelho, sendo a aquisição e análise de informações térmicas feitas a partir de dispositivo de obtenção de imagens sem contato. Disponível em: < www.engeletrica.com.br> Acesso em: 01 Dez. 2015.

OLIVEIRA, Jonathan Henrique Efigênio de. Inspeção Automatizada Utilizando Termografia. Dissertação (Engenharia Elétrica). Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2010.

WANG, Fei et al. Blind image separation for the debonding defects recognition of the solid propellant rocket motor cladding layer using pulse thermography. *Measurement*, v. 174, p. 108997, 2021.

ZHANG, Yanan et al. Cluster analysis of acoustic emission signals and infrared thermography for defect evolution analysis of glass/epoxy composites. *Infrared Physics & Technology*, v. 112, p. 103581, 2021.

Capítulo IV: Projeto de Filtro Digital tipo FIR implementado em um microcontrolador

Luis Gustavo Ferrareto Espontão ⁶

Renato Kazuo Miyamoto ⁷

Carolina Alves Bianchini ⁸

Layhon Roberto Rodrigues Dos Santos ⁹

Wesley Candido da Silva ¹⁰

Fabio Rodrigo Milanez ¹¹

RESUMO

Um filtro digital utiliza recursos de computação afim de implementar a ação de filtragem a ser executada a um sinal contínuo, para isso, o sinal é convertido em uma sequência finita de amostras, e após a filtragem, realiza-se a reconstrução do sinal (HAYKIN, 2001). Idealmente esses filtros são aplicados em sistemas embarcados com o objetivo de tratar os sinais, tornando possível a análise do sistema de maneira mais assertiva. A utilização de filtros digitais dispensa o uso de circuitos eletrônicos externos e possibilita a alteração do seu funcionamento de modo dinâmico, considerando que o filtro é programável. Assim, esse trabalho apresenta o projeto de um filtro digital tipo FIR passa-baixas aplicado a um sensor de luminosidade, para isso será utilizado ferramentas computacionais para determinar os parâmetros do filtro, para que seja possível implementá-lo em um sistema microcontrolado. As amostras são comparadas com os sinais coletados sem o filtro digital.

Palavras-chave: Filtro. Digital. Microcontrolador. Processamento Digital de Sinais. Filtro FIR.

⁶ Email: luis.espontao@sesisenaipr.org.br

⁷ Email: renato.miyamoto@sistemafiep.org.br

⁸ Email: carolina.bianchini@sistemafiep.org.br

⁹ Email: layhon.santos@sistemafiep.org.br

¹⁰ Email: wesley.candido@sistemafiep.org.br

¹¹ Email: fabio.milanez@sistemafiep.org.br

FIR type Digital Filter project implementing in a microcontroller

ABSTRACT

A digital filter uses computing resources in order to implement the filtering action to be performed on a continuous signal, for this, the signal is converted into a finite sequence of samples, and after filtering, the signal is reconstructed (HAYKIN). , 2001). Ideally, these filters are applied in embedded systems in order to treat the signals, making it possible to analyze the system in a more assertive way. The use of digital filters does not require the use of external electronic circuits and makes it possible to change its operation dynamically, considering that the filter is programmable. Thus, this work presents the design of a low-pass FIR digital filter applied to a light sensor, for which computational tools will be used to determine the parameters of the filter, so that it is possible to implement it in a microcontrolled system. The samples are compared with the signals collected without the digital filter.

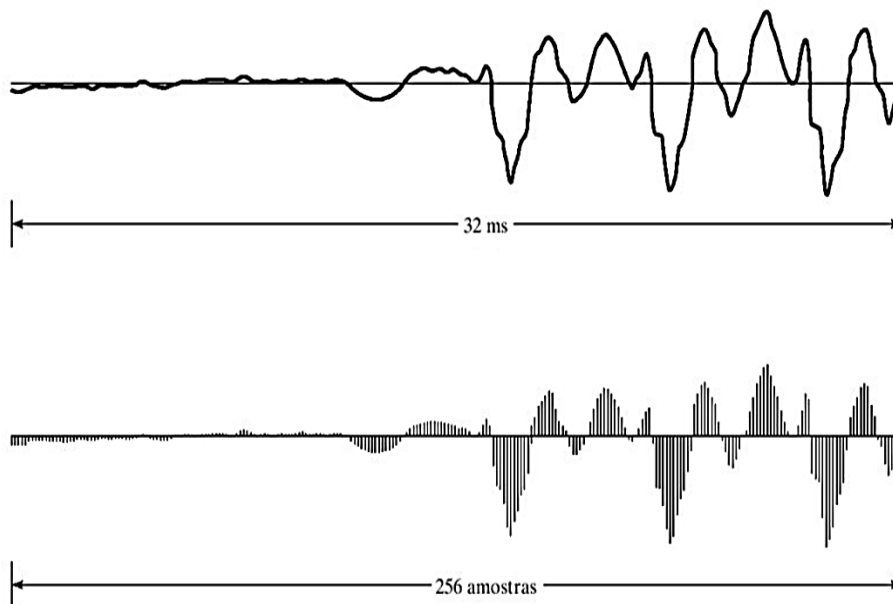
Key words: Filter. Digital. Microcontroller. Digital signal processing. FIR filter.

1. INTRODUÇÃO

O processamento de sinais lida com a representação, transformação e manipulação de sinais e da informação que os sinais contêm, podemos separar sinais que foram combinados por alguma operação (OPPENHEIN, 2012).

Para OPPENHEIN (2012), processamento digital de sinais fundamenta-se no processamento de sequências numéricas indexadas sobre variáveis inteiras, num plano de amostras, em vez de funções de uma variável independente contínua no eixo do tempo, para tal é utilizado computação digital, conforme ilustrado pela Figura 1.

Figura 1 – Exemplo do sinal contínuo e discreto



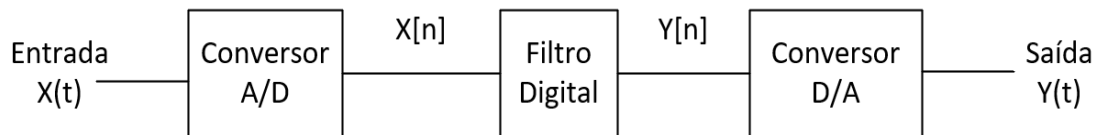
Fonte: Adaptado de OPPENHEIN, 2012.

A evolução de computadores e microprocessadores digitais para conversão de sinais analógicos para digital (A/D) e digital para analógico (D/A), tornaram possível a aplicação de sistemas de aquisição de variáveis no tempo contínuo de maneira digital, para serem posteriormente tratadas e replicadas para analogicamente.

Geralmente um sinal amostrado digitalmente é tratado através de um filtro para remover sinais indesejados, ou amplificar determinado sinal. Para essa finalidade utiliza-se de filtros digitais.

Um filtro digital utiliza computação afim de implementar a ação de filtragem a ser executada a um sinal contínuo, convertido em uma sequência finita de amostras, para após a filtragem ser reconstruído em um sinal contínuo (HAYKIN, 2001).

Figura 2 – Sistema de Filtro de sinal contínuo



Fonte: Do autor.

Dessa forma esse sistema pode ser empregado a um microcontrolador embarcado com a finalidade de realizar a filtragem de um sinal amostrado. Com esse objetivo, será projetado um filtro digital através de ferramentas matemáticas computacionais, acerca das ferramentas disponíveis no software e na literatura.

Obtendo o modelo do filtro projetado, será implementado em uma aplicação em um microcontrolador, para leitura de uma variável de intensidade luminosa para filtrar os ruídos gerados por sinais indesejados somados ao sinal fundamental.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1. FILTRO DIGITAL FIR

Filtros do tipo FIR (*Finite Impulse Response*) são característicos por uma resposta ao impulso finita, devido a essa característica, possuem memória finita, portanto, qualquer transitório tem duração limitada (HAYKIN, 2001). Sua operação é regida por equações lineares de diferenças com coeficientes constantes de natureza não-recursiva e sua função de transferência pode ser representada de acordo com a equação 1.

$$H(Z) = \sum_{n=0}^M b_n Z^{-n} \quad (1)$$

A metodologia mais simples de projeto filtro FIR é por meio do *método de janelamento*. Esse método se inicia com uma resposta em frequência desejada ideal, expressa pela equação 2 (OPPENHEIN, 2012).

$$H_d(e^{j\omega}) = \begin{cases} e^{-j\omega n_d}, & |\omega| \leq \omega_c \\ 0, & \omega_c < |\omega| \leq \pi \end{cases} \quad (2)$$

A resposta ao impulso da equação 2, é dada pela equação 3.

$$h_d[n] = \frac{\sin \omega_c (n - n_d)}{\pi(n - n_d)}, -\infty < n < \infty \quad (3)$$

A resposta impulsiva tem duração infinita e é não-causal, para solucionar esse problema, deve-se truncar a resposta impulsiva.

Admita-se que M denote a ordem de filtro, correspondente a um comprimento de filtro $M + 1$.

$$h[n] = \begin{cases} h_d[n], & 0 \leq n \leq M = 2n_d = N - 1 \\ 0, & \text{caso contrário} \end{cases} \quad (4)$$

Equivalentemente a uma multiplicação da equação 3, por uma janela de resposta infinita.

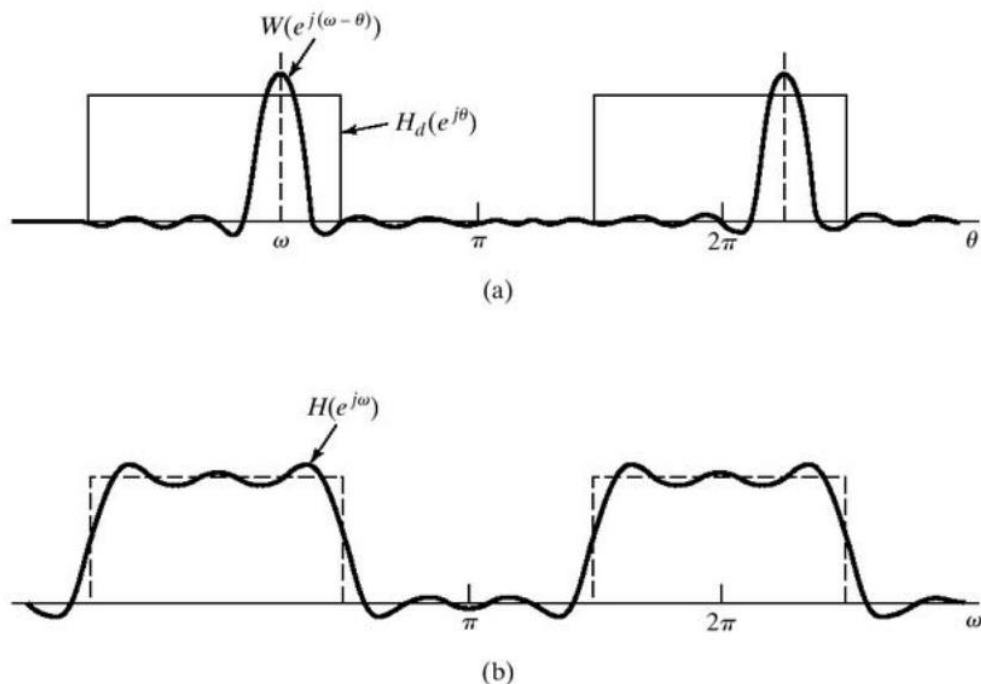
$$h[n] = h_d[n] \cdot w[n] \quad (5)$$

No caso para um truncamento simples, a janela de resposta infinita se trata de uma janela retangular, expressa pela equação 6.

$$w[n] = \begin{cases} 1, & 0 \leq n \leq M = N - 1 \\ 0, & \text{caso contrário} \end{cases} \quad (6)$$

O efeito do janelamento é evidente no domínio da frequência, onde tem-se a convolução periódica entre a resposta em frequência ideal e o espectro da janela, ilustrado pela Figura 3.

Figura 3 – Efeitos Janelamento



Fonte: Adaptado de OPPENHEIN, 2012.

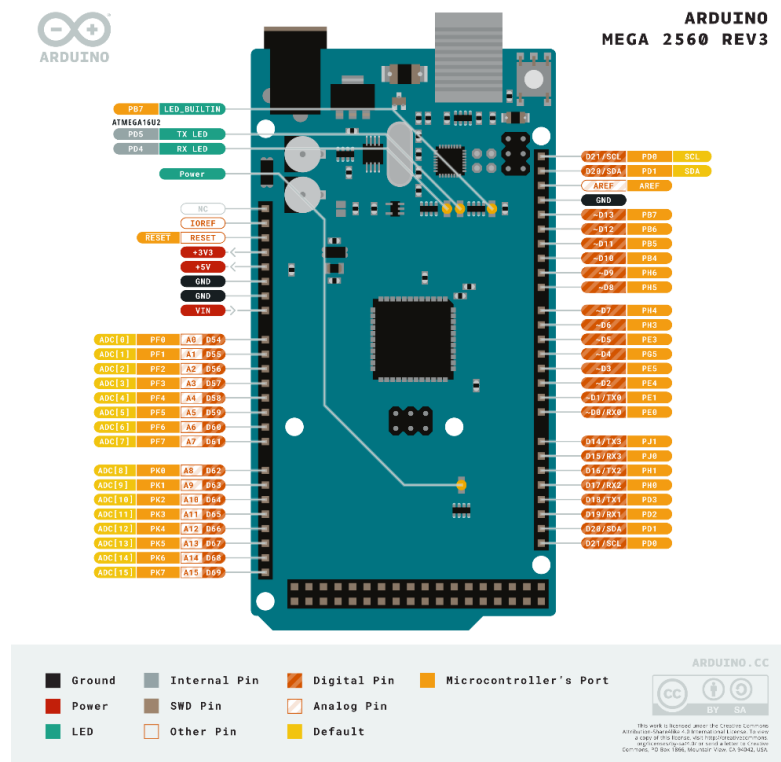
A ilustração (a) se refere ao processo da convolução decorrente do truncamento da resposta ao impulso ideal ($W(e^{-j(\omega-\theta)})$), a figura (b) demonstra a aproximação típica resultante do janelamento da resposta ao impulso ideal (OPPENHEIN, 2012). Dessa forma, a escolha da janela irá influenciar a resposta em frequência do filtro obtido. Um filtro digital pode ser aplicado a sistemas digitais microcontrolados, para isso é necessário compreender sobre os aspectos relacionados a microcontroladores. Nessa pesquisa, utilizou-se o microcontrolador ATmega2560 embarcado na plataforma de prototipagem Arduino MEGA 2560 R3.

2.2. PLATAFORMA ARDUINO MEGA 2560 R3

Arduino se trata de uma plataforma de desenvolvimento de código livre. O Arduino MEGA utilizado nesse trabalho emprega o microcontrolador ATmega2560 que possui entradas e saídas para sensores. A programação é desenvolvida utilizando uma linguagem de programação específica e um ambiente de desenvolvimento. A

disposição dos pinos da placa Arduino utilizada para o experimento está ilustrada na Figura 4 (ARDUINO, 2022).

Figura 4 – Arduino MEGA 2560 R3



Fonte: ARDUINO, 2022.

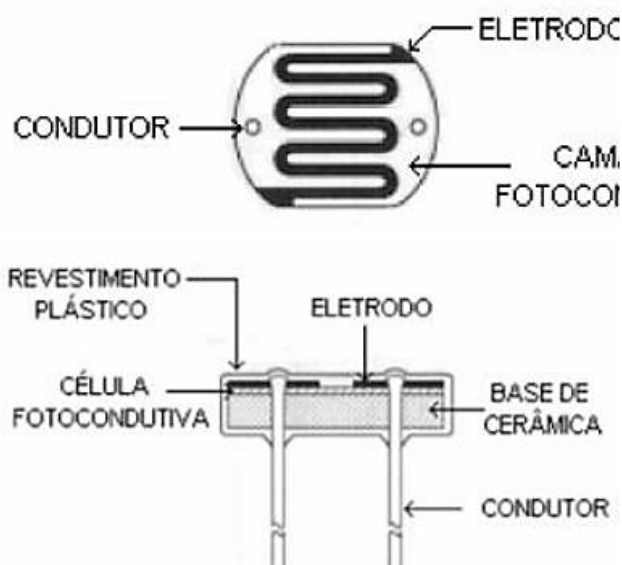
Em termos práticos “um Arduino é um pequeno computador que você pode programar para processar entradas e saídas entre o dispositivo e os componentes externos conectados a ele” (MCROBERTS, 2011, p. 22). O Arduino pode receber e enviar dados por meio das portas, que são programadas para funcionarem como entrada ou saída. A entrada pode ser analógica ou digital, e para esse projeto, utiliza-se uma entrada analógica para a aquisição de sinais de luminosidade através de um sensor termo resistivo.

2.3. RESISTOR DEPENDENTE DE LUZ (LDR)

Os semicondutores possuem características que reagem com a incidência de luminosidade e aplicação de temperatura, que influencia diretamente sua capacidade de conduzir corrente elétrica (GHELLERE, 2009). O LDR (*Light Dependent Resistor*)

ou Resistor Dependente de Luz, é um dispositivo semiconductor eletrônico que possui dois terminais e a características de alterar sua resistência de acordo com a incidência de luz sobre seu encapsulamento conforme ilustra a Figura 5.

Figura 5 – Visa superior e frontal LDR



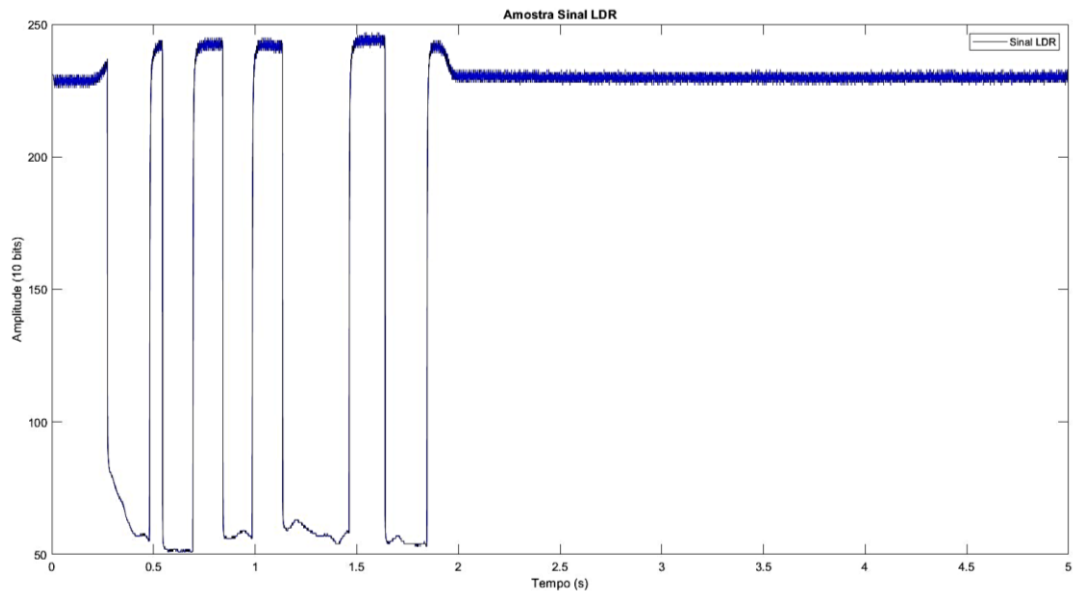
Fonte: GHELLERE, 2009.

Seu encapsulamento consiste basicamente no material semiconductor na sua forma pura, protegido por um invólucro transparente a quase todas as cores do espectro visível, de modo que possa absorver melhor a luz (GHELLERE, 2009). A Seção 3 apresenta os aspectos metodológicos utilizados nesse trabalho.

3. METODOLOGIA

Para o desenvolvimento do filtro digital, é necessário o conhecimento dos dados a serem amostrados para identificar os parâmetros de atenuação e banda de passagem do filtro. Desta forma foi realizada a coleta do sinal de intensidade luminosa, através do Arduino e um módulo contendo o sensor LDR, enviando os dados lidos via serial para o software de modelagem matemática. Os dados amostrados são representados na Figura 6.

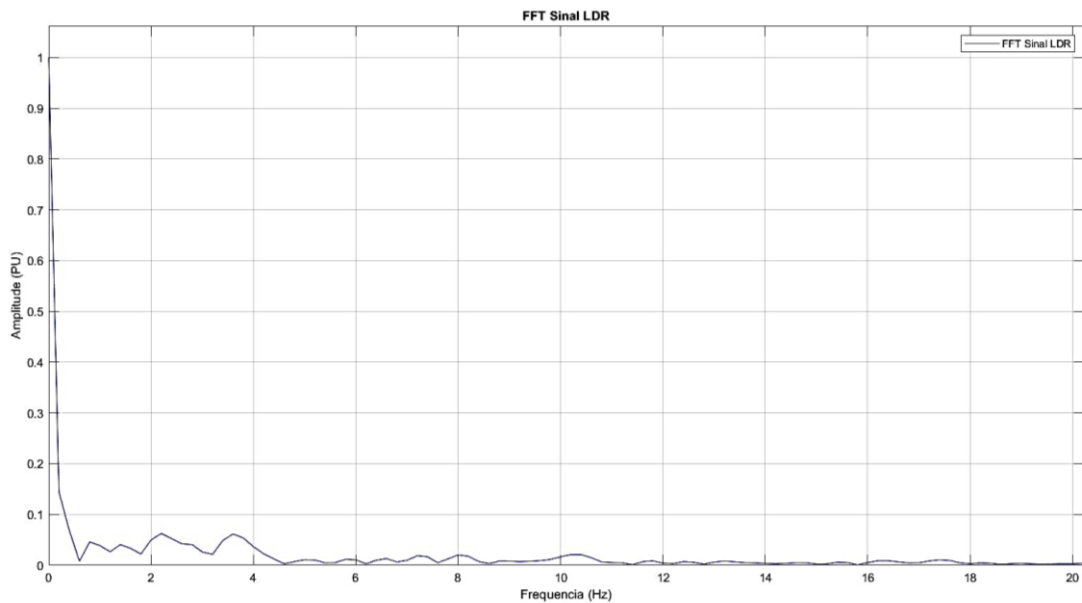
Figura 6 – Amostragem LDR



Fonte: Do autor.

No momento da coleta, a incidência de luz no LDR, foi variada com o intuito de identificar os transitórios do sensor. Na sequência foi realizada a FFT (*Fast Fourier Transform*) do sinal da Figura 7.

Figura 7 – FFT Sinal LDR



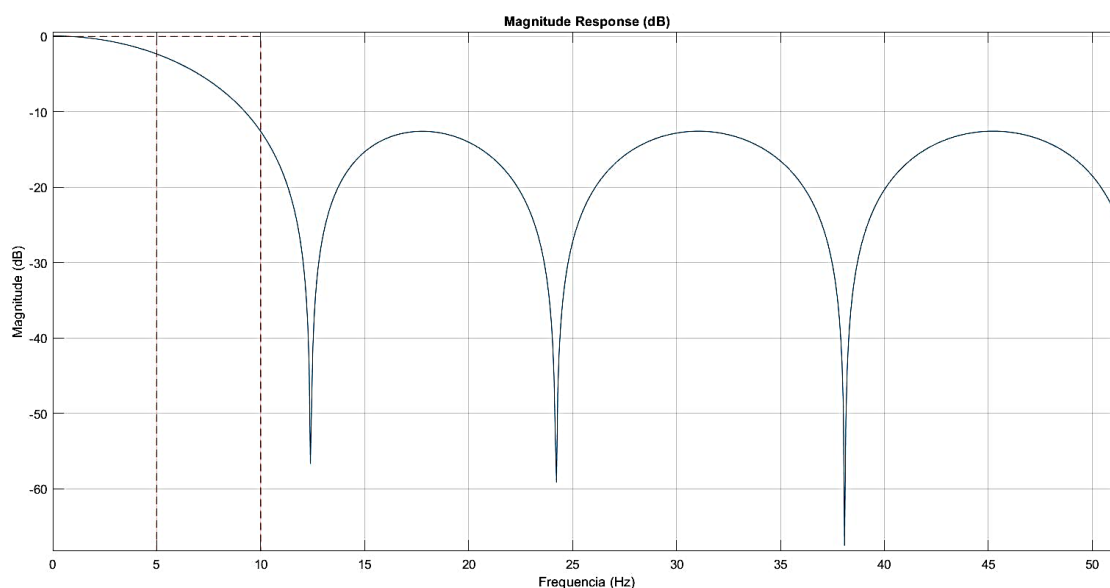
Fonte: Do autor.

Ao analisar as amplitudes do sinal, ilustradas pela Figura 7, podemos identificar algumas amplitudes de sinais na ordem de 4 Hz até próximo de 12 Hz.

Dessa forma o filtro deverá atenuar estas frequências, a fim de reduzir os ruídos não desejados ao sinal, dessa forma será projeto um filtro passa-baixas, que deverá atenuar frequências altas a partir de uma determinada frequência de corte.

O filtro será projetado utilizando a ferramenta *designfilt*, disponível no software de modelagem matemática, onde ao inserir os parâmetros de tamanho do janelamento, frequência de corte, banda de transição e a frequência de amostragem de nosso microcontrolador, que no caso é próxima aos 1,5 KHz. Os valores foram empiricamente ajustados conforme a resposta do filtro a um impulso, ilustrado na Figura 8.

Figura 8 – Resposta Magnitude em função da Frequência

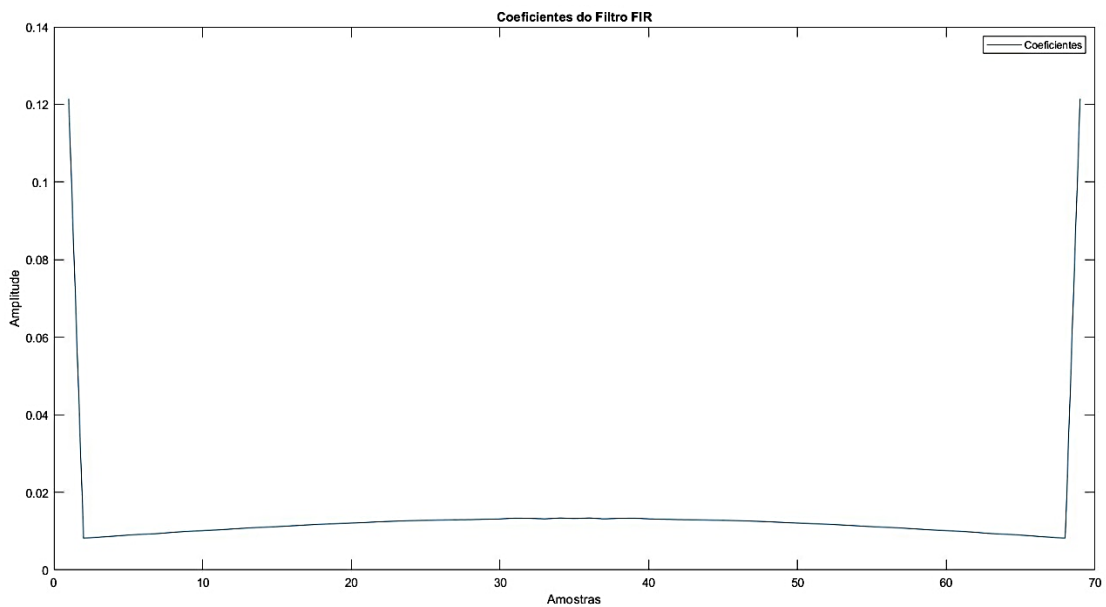


Fonte: Do autor.

Onde podemos ver o ganho dos sinais pela frequência, pode-se identificar na Figura 8, que a frequência de corte que deu os resultados mais satisfatório foi de 5Hz, onde o filtro passa a atenuar os sinais acima de 3 Hz, e em 5 Hz apresenta 70,7% de seu sinal, ou -3dB de atenuação.

A banda de transição selecionada foi de 5Hz, para garantir a estabilização da atenuação do filtro próximo a -12dB de ganho. Dessa forma o janelamento o sistema é constituído de 69 coeficientes ilustrados na Figura 9.

Figura 9 – Coeficientes Filtro Passa-Baixa



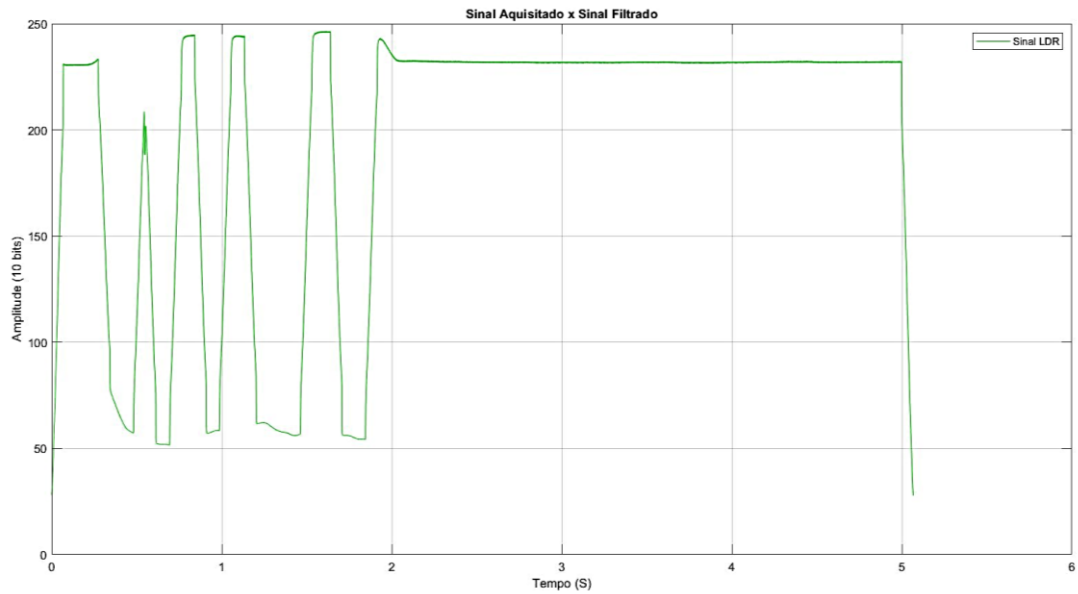
Fonte: Do autor.

Dessa forma será realizado a convolução destes coeficientes com o sinal amostrado, ilustrado na Figura 6, para realizar a filtragem das frequências demonstradas na Figura 8.

4. APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Os resultados obtidos através da convolução do filtro desenvolvido na metodologia seguem ilustrados na Figura 10. Pode-se verificar a atenuação dos ruídos presentes no sinal amostrado (Figura 6). A convolução dos coeficientes do filtro ocorre em tempo real e foi implementado no microcontrolador ATmega2560. Dessa forma observa-se que o filtro realizou de maneira coerente o tratamento do sinal, de forma a tornar um sinal ruidoso para um sinal limpo, adequado para ser aplicado em um sistema embarcado.

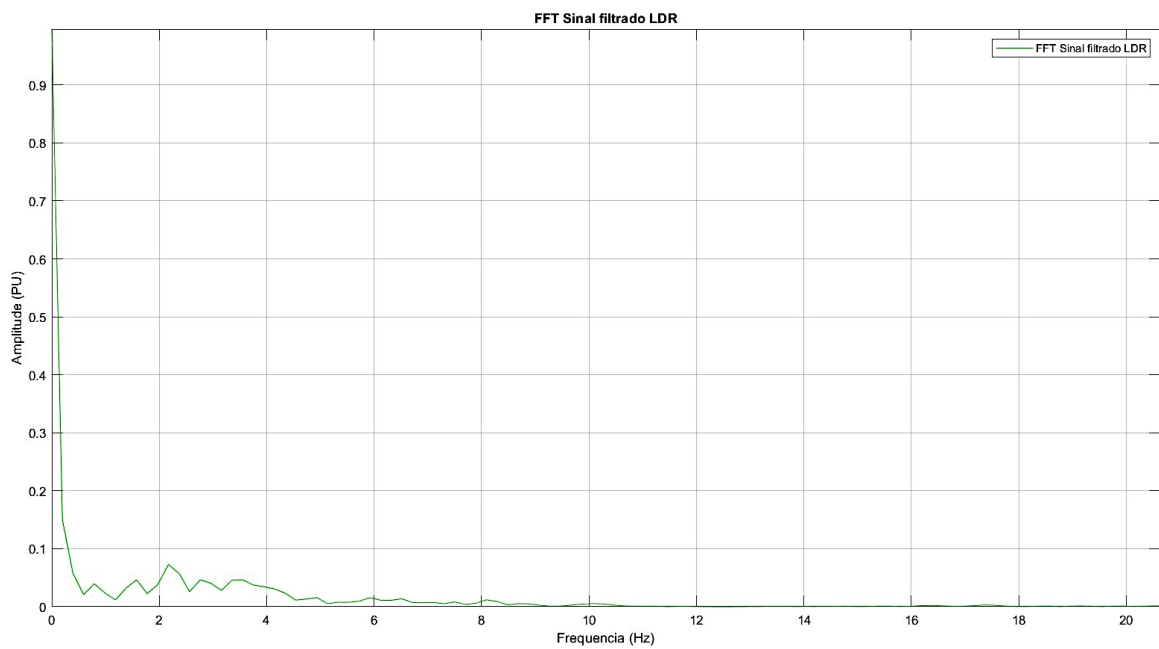
Figura 10 – Sinal Filtrado



Fonte: Do autor.

A Figura 11 ilustra a FFT (*Fast Fourier Transform*) do sinal obtido pela filtragem, para identificar as frequências que foram atenuadas em relação as apresentadas na Figura 7.

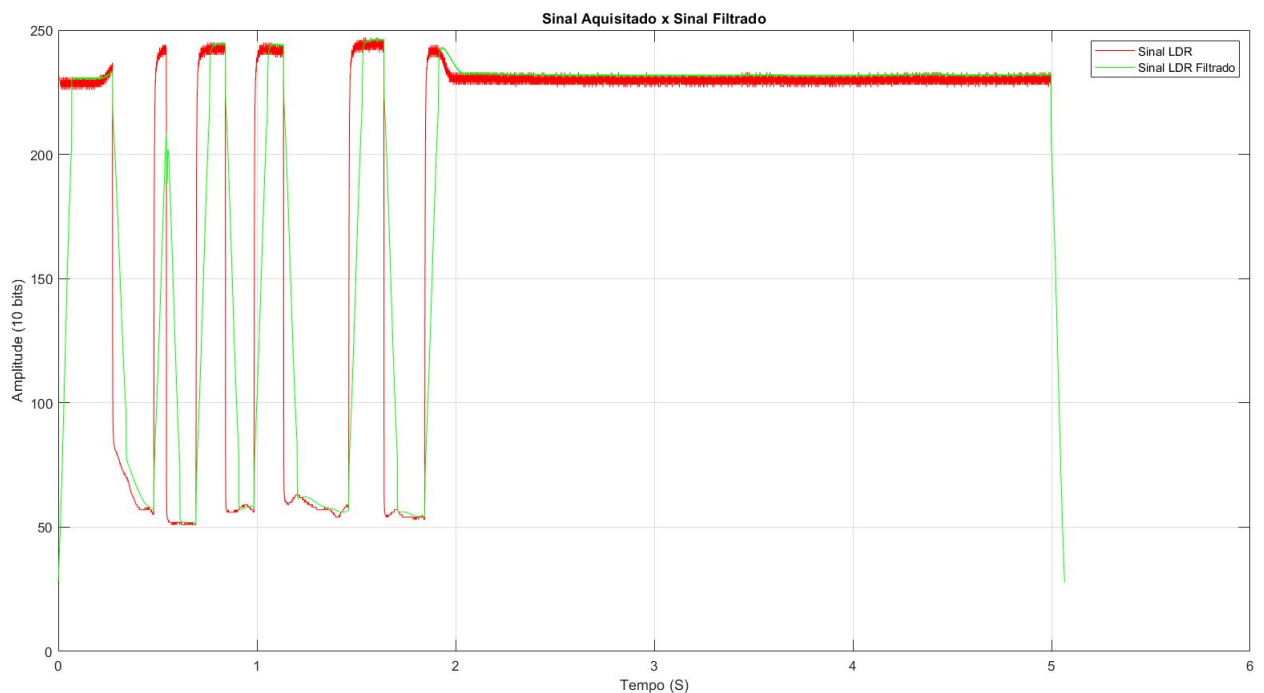
Figura 11 – FFT Sinal Filtrado



Fonte: Do autor.

Analisando a Figura 11 em relação a Figura 7, identifica-se que houve atenuações de sinais acima de 4 Hz, que compõem os principais ruídos do sinal amostrado. A Figura 12, ilustra a sobreposição dos sinais, em que fica evidenciado a correção das amostragens do filtro.

Figura 12 – Sobreposição do Sinal amostrado x Sinal filtrado

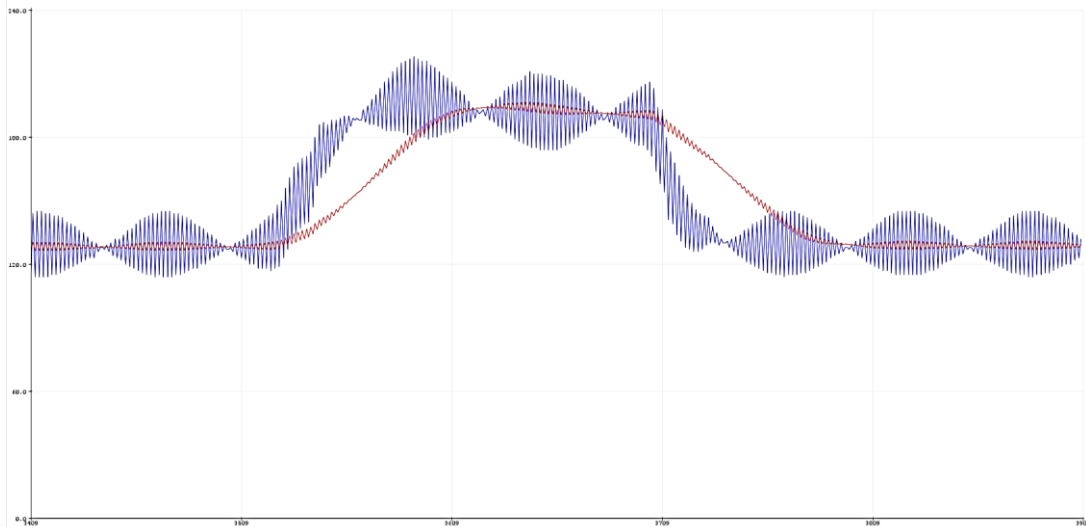


Fonte: Do autor.

No Arduino utilizou-se a biblioteca FIR que já possui funções voltadas para a aplicações de filtros digitais. O script utilizado para o tratamento das amostras consta em Anexo nesse artigo. Para identificar a atuação do filtro, foi utilizado a serial plotter, presente na interface de programação do Arduino, que possibilita realizar a plotagem dos dados em tempo real. Foi realizado a plotagem do sinal de entrada do sensor LDR, e a plotagem do sinal filtrado.

A Figura 13 ilustra o resultado obtido pelo filtro digital FIR. Na figura, o sinal plotado em azul se refere ao lido em tempo real sem a aplicação da filtragem. O sinal plotado em vermelho refere-se ao sinal filtrado.

Figura 13 – Implementação Filtro Arduino



Fonte: Do Autor.

Analisando a resposta do filtro, vemos um certo atrasado devido a amostragem e os coeficientes, porém a resposta está bem agradável para este tipo de sinal.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O intuito deste trabalho é demonstrar como utilizar de maneira objetiva as ferramentas disponíveis em softwares de modelagem matemática, para realizar o projeto de filtros digitais, e aplicação em sistemas embarcados.

No exemplo deste trabalho foi a coleta de intensidade luminosa, que pode ser usada para várias aplicações da indústria, como contagem de peças de um processo, ou verificação de luminosidade incidida em painéis solares.

Pode-se aplicar para qualquer sinal que necessite deste tipo tratamento, seja para remoção de ruídos, ou para coletar determinada característica presente no sinal, como por exemplo, filtrar as frequências de um sinal de áudio, que representam um ruído presente na gravação.

REFERÊNCIAS

ARDUINO. **Arduino MEGA 2560 R3**. 2022. Disponível em: <https://docs.arduino.cc/hardware/mega-2560> .Acesso em: 09 de junho, 2022.

MCROBERTS, M. **ARDUINO BÁSICO**. São Paulo: Novatec, 2011.

GHELLERE, G. LDR **Light Dependent Resistor: Resistor Variável de acordo com incidência de luz**. Foz do Iguaçu: 2009. Disponível em: <http://www.foz.unioeste.br/~lamat/downcompendio/compendiov7.pdf> . Acesso em: 09 de junho, 2022.

OPPENHEIN A.V., SCHAFFER R.W., **PROCESSAMENTO DE SINAIS EM TEMPO DISCRETO**, 3ª Edição, 2012.

HAYKIN, S. **SINAIS E SISTEMAS**. Ed. Bookman, 2001.

ANEXO A – CÓDIGO ARDUINO

```
#include <FIR.h>

FIR<float, 68> fir_lp;

int sensorPin = 0;
int LDR = 0;
void setup()
{
  Serial.begin(9600);

  float          coef_lp[69]          =
0.121475311702895,0.00817690691154585,0.00844382222120648,0.00869474782
810398,0.00895556041027448,0.00921511872152930,

0.00940148993964046,0.00969100933249147,0.00991365032104916,0.010143139
3003249,0.0103394929802585,0.0105530810397007,

0.0107730684208698,0.0109803607212739,0.0111863404930232,0.011383240203
0097,0.0115792079187627,0.0117667523065124,0.0119354448267821,

0.0121067740678013,0.0122606850398663,0.0124251725906382,0.012552522431
9711,0.0126713639569128,0.0127668966458493,0.0128578634908869,

0.0129519838401939,0.0129920266404429,0.0131000541368050,0.013170702285
7531,0.0133465373798627,0.0133021972298821,0.0131702524492663,

0.0133803823253790,0.0132622210004390,0.0133803823253790,0.013170252449
2663,0.0133021972298821,0.0133465373798627,0.0131707022857531,

0.0131000541368050,0.0129920266404429,0.0129519838401939,0.012857863490
8869,0.0127668966458493,0.0126713639569128,0.0125525224319711,

0.0124251725906382,0.0122606850398663,0.0121067740678013,0.011935444826
7821,0.0117667523065124,0.0115792079187627,0.0113832402030097,

0.0111863404930232,0.0109803607212739,0.0107730684208698,0.010553081039
7007,0.0103394929802585,0.0101431393003249,0.00991365032104916,

0.00969100933249147,0.00940148993964046,0.00921511872152930,0.008955560
41027448,0.00869474782810398,0.00844382222120648,0.00817690691154585,0.
121475311702895  };

// Set the coefficients
fir_lp.setFilterCoeffs(coef_lp);

// Set the gain
Serial.print("Low Pass Filter Gain: ");
```

```
Serial.println(fir_lp.getGain());  
}  
  
void loop() {  
  // Run through our simulated data in "real time" and compare the outputs.  
  // You can paste the output in your favorite graphing program if you want  
  // to see how the different filters modify the output.  
  LDR = analogRead(sensorPin);  
  Serial.print(LDR);  
  Serial.print(",");  
  Serial.println(fir_lp.processReading(LDR));  
  delayMicroseconds(1);  
}
```

ANEXO B – CÓDIGO OCTAVE

```

clear; clc; close all;

load('LDR.mat');

fs = 1000; %Frequencia de amostragem
Ts = 1/fs; %Tempo de amostragem

figure(1);
plot(x,y,'b');
title('Amostra Sinal LDR');
legend('Sinal LDR');
xlabel('Tempo (s)');
ylabel('Amplitude (10 bits)');
%% FFT Sinal

% Frequencia de analise FFT sinal
[R,C] = size(y);
freq = (0:C-1)/(C * Ts);
%freq = freq';
Yfft = fft(y);
%Normalização dos valores
ampspec_Y = abs(Yfft);
base_Y = max(ampspec_Y);
ampY_PU = ampspec_Y/base_Y;
%-----

figure(2);
plot(freq,ampY_PU,'b');
grid on
axis([0 200 0 1.5]);
title('FFT Sinal LDR');
legend('FFT Sinal LDR');
xlabel('Frequencia (Hz)');
ylabel('Amplitude (PU)');

%% Projeto FIR - DesignFilt - Projeto

M = 68;
f1 = 5;
banda = 5;

d = designfilt('lowpassfir','filterOrder',M,...
'PassbandFrequency', f1, 'StopbandFrequency', f1+banda,...

```

```

'SampleRate', fs);

fvtool(d);

figure(3)
plot(d.Coefficients);
title('Coeficientes do Filtro FIR');
legend('Coeficientes');
xlabel('Amostras');
ylabel('Amplitude');

Fitro_FIR = d.Coefficients;

Y_FIR = conv(y,Fitro_FIR);

%% Frequencia de analise FFT sinal filtrado
[R1,C1] = size(Y_FIR);
freq1 = (0:C1-1)/(C1 * Ts);
t1 = (0:C1-1) * Ts;
freq1 = freq1';

Y_FIR_fft = fft(Y_FIR);

%Normalização dos valores
ampspec_Y_FIR_fft = abs(Y_FIR_fft);
base_Y_FIR_fft = max(ampspec_Y_FIR_fft);
ampY_FIR_PU = ampspec_Y_FIR_fft/base_Y_FIR_fft;
%-----

figure(4);
plot(x,y,'r');
plot(freq1,ampY_FIR_PU,'g');
axis([0 200 0 1.5]);
grid on
title('FFT Sinal filtrado LDR');
legend('FFT Sinal filtrado LDR');
xlabel('Frequencia (Hz)');
ylabel('Amplitude (PU)');

%%
figure(5);
%plot(x,y,'r');
%hold on
plot(t1,Y_FIR,'g');
grid on
title('Sinal Aquisitado x Sinal Filtrado');
legend('Sinal LDR','Sinal LDR Filtrado');

```

```
xlabel('Tempo (S)');  
ylabel('Amplitude (10 bits)');
```

